

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1934

THESE 236

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Pierre BRIAND

Né, le 24 Octobre 1903, à LA CHATAIGNERAIE (Vendée)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
de l'alimentation en Eau
de la VILLE de NANTES

Président : M. TANON, Professeur



SAINT-CLOUD
IMPRIMERIE GIRAULT
3, 5 et 7, Place de l'Église

1934

1890

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1934

THÈSE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Pierre BRIAND

Né, le 24 Octobre 1903, à LA CHATAIGNERAIE (Vendée)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
de l'alimentation en Eau

de la VILLE de NANTES

Président : M. TANON, Professeur



SAINT-CLOUD
IMPRIMERIE GIRAULT
3, 5 et 7, Place de l'Église

1934



I — PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	ROUVIÈRE.
Anatomie médico-chirurgicale et chirurgie expérimentale	PROUST.
Physiologie	LÉON BINET.
Physique médicale	SROHL.
Chimie médicale	DESGREZ.
Bactériologie	Robert DEBRÉ.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales	BAUDOIN.
Pathologie médicale	CLERC.
Pathologie chirurgicale	CHEVASSU,
Anatomie pathologique	ROUSSY.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	LOEPER.
Hygiène et médecine préventive	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LAIGNEL-LAVASTINE
Pathologie expérimentale et comparée	FIESSINGER.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	Maurice VILLARET
	ACHARD.
Clinique médicale	BESANÇON.
	CARNOT.
	Marcel LABBÉ.
Hygiène et clinique de la première enfance	LEREBoullet.
Clinique des maladies des enfants	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	LEMIERRE.
	CUNÉO.
Clinique chirurgicale	GOSSET.
	GRÉGOIRE.
	LENORMANT.
Clinique ophtalmologique	TERRIEN.
Clinique urologique	MARION.
	BRINDEAU.
Clinique d'accouchements	COUVELAIRE.
	JEANNIN.
Clinique gynécologique	J.-L. FAURE.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	OMBREDANNE.
Clinique thérapeutique médicale	RATHERY.
Clinique oto-rhino-laryngologique	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique	SERGENT.
Clinique de la Tuberculose	LÉON BERNARD.
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte	MATHIEU.
	HOVELACQUE.
Professeurs sans chaire	MULON.
	OLIVIER.
	VERNE.

II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.		MM.	
ALAJOUANINE .	Neurologie et Psychiâtrie	LANTUÉJOUL . .	Obstétrique.
BÉNARD (Henri)	Pathologie médicale.	LAROCHE (Guy)	Pathologie médicale.
BERNARD Etienne	Pathologie médicale.	LEMAIRE . . .	Pathologie expérimentale
BOULIN	Pathologie médicale.	LEVEUF	Pathologie chirurgicale.
BROCQ.	Pathologie chirurgicale.	Mlle J. LÉVY .	Pharmacologie.
BULLIARD . . .	Histologie.	LÉVY-VALENSI .	Neurologie et Psychiâtrie
CATHALA	Pathologie médicale.	MOREAU	Pathologie médicale.
CHABROL, . . .	Pathologie médicale.	MOULONGUET .	Pathologie chirurgicale
CHEVALIER. . .	Pathologie médicale.	MOUQUIN. . . .	Pathologie médicale.
DOGNON	Physique.	ÖBERLING . . .	Anatomie pathologique.
DONZELOT . . .	Pathologie médicale.	PETIT-DUTAILLIS	Pathologie chirurgicale.
FEY	Urologie.	PIÉDELIÈVRE . .	Médecine légale.
GALLIARD . . .	Parasitologie.	PORTES.	Obstétrique.
GASTINEL . . .	Bactériologie.	QUÉNU	Pathologie chirurgicale.
GATELLIER. . .	Pathologie chirurgicale.	RICHET	Physiologie.
DE GAUDART		SANNIÉ.	Chimie biologique.
D'ALLAINES.	Pathologie chirurgicale.	SÈNÈQUE	Pathologie chirurgicale.
GAYET	Physiologie.	SÉZARY	Dermatologie et syphiligraphie.
GIROUD	Histologie.	TROISIER	Pathologie expérimental
HAGENEAU. . .	Pathologie médicale.	TURPIN	Pathologie médicale.
HALPHEN . . .	Oto-rhino-laryngologie.	VALLÉRY-RADOT	
HAZARD	Pharmacologie.	(Pasteur) . . .	Pathologie médicale.
HUGUENIN . . .	Anatomie pathologique.	VELTER	Ophtamologie.
JOANNON. . . .	Hygiène.	VIGNES.	Obstétrique.
LABBÉ (Henri)	Chimie biologique.	WILMOTH	Pathologie chirurgicale.
LACOMME . . .	Obstétrique.		

III. — AGREGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE

pour le service des examens

MM.		MM.	
ALGLAVE . . .	Pathologie chirurgicale.	LEROUX	Anatomie pathologique.
BUSQUET. . . .	Pharmacologie.	NEVEU-LEMAIRE	Parasitologie.
CHAILLEY-BERT	Physiologie.	ZIMMERN. . . .	Physique

IV. - AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

à titre permanent

MM.		MM.	
ABRAMI	} Clinique médicale.	GUÉNIOT. . . .	} Clinique obstétricale.
AUBERTIN		LE LORIER. . . .	
BRULÉ.		LEVY-SOLAL . . .	
CHIRAY		METZGER	
DUVOIR			
HARVIER. . . .			
LIAN			

MM.

BASSET	} Clinique chirurgicale.
CADENAT. . . .	
HEITZ-BOYER . .	
MOCQUOT	
MOURÉ.	
SCHWARTZ	

V. - CHARGÉS DE COURS

MM.

CHAILLEY-BERT, agrégé. . .	Education physique.
FREY	Stomatologie.
LEDoux-LEBARD	Radiologie clinique.
WEILL-HALLÉ	Puériculture.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

In Memoriam

A MA MÈRE

A MON GRAND-PÈRE

A MA GRAND'MÈRE

A MON PÈRE

A MA FEMME

AUX MIENS ET A MES AMIS

A MONSIEUR LE PROFESSEUR LOUIS TANON

PROFESSEUR D'HYGIÈNE ET DE MÉDECINE PRÉVENTIVE
A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

CONSEILLER SANITAIRE TECHNIQUE
DU MINISTÈRE DE LA SANTÉ PUBLIQUE

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES SERVICES TECHNIQUES D'HYGIÈNE
DE LA PRÉFECTURE DE POLICE
OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

*qui nous a fait le grand honneur
d'accepter la présidence de cette thèse.
Très respectueux hommage.*

A MONSIEUR CASSEGRAIN

MAIRE DE LA VILLE DE NANTES
CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR
OFFICIER DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

A MESSIEURS LES ADJOINTS ET CONSEILLERS MUNICIPAUX

A MONSIEUR CAILLAUD

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL
CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

A MONSIEUR BOURCY

INGÉNIEUR EN CHEF
CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

*Respectueuse gratitude pour la bienveillante
sympathie qu'ils nous ont témoignée
pendant l'exercice de nos fonctions.*

A MONSIEUR LE DOCTEUR SÉBILLEAU
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE
CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

A MONSIEUR LE DOCTEUR GUÉRITHAULT
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

A NOS MAÎTRES .
MM LES PROFESSEURS DE L'INSTITUT D'HYGIÈNE
DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ET A TOUS NOS MAÎTRES
DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE NANTES

*dont les conseils et les encouragements nous
ont été si précieux au cours de nos études.
Hommage de notre respectueuse reconnaissance.*

A MONSIEUR LE DOCTEUR ROBIN

DIRECTEUR DES SERVICES D'HYGIÈNE DE LA VILLE DE NANTES

CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

*En témoignage de notre respectueuse
et profonde gratitude pour ses conseils
éclairés et son aimable direction.*

SOMMAIRE

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE PREMIER. — **Importance de la question de l'eau.**

CHAPITRE II. — **Qualités de l'eau potable.**

DEUXIÈME PARTIE

LE SERVICE DES EAUX A NANTES

CHAPITRE PREMIER. — **Historique.**

CHAPITRE II. — **Organisation actuelle.**

Captage.

Filtration.

Adduction et élévation des eaux.

Réservoir, distribution, branchements particuliers.

Conduite de la filtration (maturation, membrane biologique, vitesse de filtration, nettoyage).

Javellisation.

CHAPITRE III. — **Contrôle des eaux d'alimentation.**

Nécessité du contrôle.

Méthodes et fréquence de contrôle.

Utilité des méthodes rapides de contrôle.

L'eau de la Loire.

Résultats de la filtration.

CHAPITRE IV. — **Modifications projetées.**

CONCLUSIONS

BIBLIOGRAPHIE

GÉNÉRALITÉS

IMPORTANCE DE LA QUESTION DE L'EAU POTABLE

L'utilité de l'eau potable n'est plus à démontrer et la nécessité de la procurer aux habitants en quantité suffisante est un des problèmes les plus importants de l'hygiène urbaine.

L'eau est, en effet, indispensable à la vie. Elle constitue un des éléments principaux des cellules animales et végétales. Suivant l'expression curieuse de Hoppe-Seyler (citée par Bonjean), « Tous les organismes vivent dans l'eau et même dans l'eau courante ». Grâce à son pouvoir dissolvant, elle transporte par osmose et diffuse à travers tout l'organisme les principes nécessaires à l'entretien du milieu vital. Dans les phénomènes digestifs, par le jeu des réactions d'hydrolyse et d'hydratation, elle contribue à la désintégration des matières albuminoïdes et à leur reconstruction sous la forme des tissus propres de l'individu.

L'eau maintient l'équilibre osmotique des cellules et permet, par la fixité de la concentration moléculaire, le libre jeu des différentes fonctions de l'organisme.

L'eau a donc pour l'homme la valeur d'un aliment. Elle en a aussi la fragilité. Qu'il nous suffise de citer quelques-unes des maladies transmissibles par l'eau, pour montrer quel soin on doit apporter à son épuration et à sa surveillance dans l'alimentation d'une grande ville : le choléra, dont R. Koch découvrit, en 1884, le vibrion dans l'eau des tanks hindous; la fièvre typhoïde, qui fournit le sujet d'une célèbre communication de Brouardel au Congrès de Vienne en 1887, la dysenterie bacillaire et surtout amibienne, etc...

L'eau peut aussi contenir des œufs ou des larves de parasites intestinaux. La présence de ces helminthes dans l'intestin humain, outre les désordres qui peuvent résulter de leur développement propre, provoque des lésions de la muqueuse à la faveur desquelles peuvent s'inoculer diverses bactéries pathogènes, agents de maladies infectieuses.

Dans le cas de la fièvre typhoïde, si les brusques éclosions d'épidémies aux atteintes multiples, comme celle qui affligea dernièrement la ville de Lyon en 1928, reconnaissent, sans doute possible, une origine hydrique, il semble bien démontré, à l'heure actuelle, que d'assez nombreux cas sporadiques, qu'une certaine endémie typhoïdique, relèvent souvent d'autres causes que de l'eau : consommation de légumes et de fruits crus, coquillages, lait, etc... (1), contagion inter-humaine...

Tel est également l'avis de Georgio Tron, qui cite plusieurs grandes villes d'Italie (Milan...) pour lesquelles l'organisation d'une alimentation en eau irréprochable et d'un service d'hygiène très actif n'ont pu arriver qu'à une diminution notable de cas de typhoïde, mais sans empêcher complètement l'éclosion de cas disséminés.

Cette notion de l'importance des eaux potables a été comprise dès l'antiquité.

Layard, dans une étude publiée en 1848, sur les ruines de Babylone et de Ninive, signale, en même temps que les réseaux d'égouts (dont il subsiste quelques vestiges avec évacuation vers le Tigre et l'Euphrate), des puits renommés fournissant l'eau potable (Puits d'Assur à Ninive).

Diodore de Sicile (Livre II - 13) décrit l'aqueduc d'Ecbatane qui, à travers la base d'une montagne, amenait à la ville l'eau d'un lac distant de plus de 2 km.

L'étude des caractères hiéroglyphiques nous montre chez les Egyptiens la préoccupation des questions d'eau potable traduite par des dessins de puits, de systèmes divers d'élévation (norias, etc...).

(1) Nous avons commencé à ce sujet, sur les huîtres et les salades, des recherches que nous comptons poursuivre.

Chez les Hébreux, on note, à Jérusalem, la présence de deux grands puits, de citernes particulières et d'un grand aqueduc achevé sous Ezechias vers l'an 120 avant Jésus-Christ, formant tunnel sur plus de 1.500 mètres et amenant dans le temple les eaux de la source de Gihon, située sur l'autre versant de la colline. On trouve même des réseaux d'égouts avec bassins de décantation et épandage organisé.

En Grèce; Hippocrate attache une grande importance à l'étude de l'eau : « Je veux exposer ce qui est à dire sur les eaux et montrer qu'elles sont malsaines et qu'elles sont très salubres, quelles incommodités ou quel bien résultent des eaux dont on fait usage, car elles ont une grande influence sur la santé... Le premier soin du médecin, en arrivant dans une ville inconnue, doit être de bien examiner la situation et l'exposition de l'eau par rapport aux vents et au lever du soleil... ». Il indique la nécessité, pour le médecin, d'étudier la nature des eaux et montre quelles maladies : rate obstruée, dysenterie, diarrhées, fièvre-quarte, peuvent résulter de la consommation des eaux marécageuses ou stagnantes (1).

Athènes, au temps de Pisistrate, n'avait pas moins de 18 conduites amenant les eaux des régions voisines, principalement des Monts Hymette et Pentélique. Aujourd'hui encore, une partie importante de ces canalisations serait en service.

La citadelle de Pergame était alimentée par une conduite d'eau formant siphon. Eupalinos avait creusé un tunnel de 1.200 mètres pour amener l'eau à Samos. On pourrait multiplier les exemples pour montrer que les Grecs savaient élever l'eau, la conduire longtemps dans d'énormes canalisations de pierre (dont beaucoup subsistent encore après plus de vingt siècles), et la distribuer dans des conduites de bois, de poterie ou de plomb. L'usage des fontaines publiques, de sources, de puits, était sévèrement réglementé (Loi de Solon).

Les Grecs furent, d'ailleurs, les initiateurs des Romains,

(1) Traité des airs, des eaux et des lieux. Trad. Littré VI.

qui passèrent maîtres dans l'art des grands travaux hydrologiques. Rome qui, au début, s'approvisionnait en eau, surtout au Tibre et aux sources jaillissant des collines voisines, se préoccupa d'amener l'eau pure de sources plus importantes et plus lointaines : Appius Claudius, Ancus Martius (630 av. J.-C.) construisirent des aqueducs qui portèrent leur nom (Aqua Appia - Aqua Marcia).

Les Tarquins réalisèrent l'assèchement de marais, où devait plus tard s'élever le Forum, par le superbe « Cloaca Maxima », et établirent un réseau d'égouts sur lesquels se branchaient les canalisations des maisons particulières.

Frontin (1) rapporte que Rome, au premier siècle après J.-C., était alimentée par 22 aqueducs d'une longueur totale d'environ 420 km., dont 49 sur arcades et le reste le plus souvent en canaux souterrains. Le service des eaux, dirigé par un Curator aquarum, comprenait un nombreux personnel (environ 460 employés) et l'eau était distribuée en abondance.

A Pompeï, parmi tant de curiosités archéologiques, on retrouve les canalisations de plomb des maisons particulières. Rome a laissé de nombreux vestiges de travaux d'adduction d'eau, parfois gigantesques, qu'elle réalisait aussitôt implantée en pays conquis. On peut voir à Tunis, près du petit village arabe de la Malga, les vestiges d'un grand aqueduc construit par Adrien, qui prenait l'eau aux sources de Zaghouan, la conduisait sur une distance de 91 km., après avoir traversé des vallées sur des arcades de 35 mètres de hauteur, jusqu'à Carthage, où il déversait dans 15 vastes citernes, 32 millions de litres d'eau. Le château d'eau ou Nymphée, qui y avait été édifié, est l'un des monuments antiques les plus remarquables de la Tunisie.

Les Romains dotèrent la Gaule de nombreux ouvrages dans ce genre. Lutèce possédait, sous les Césars, au moins deux aqueducs : celui d'Arcueil, construit au IV^e siècle de notre ère, amenait aux thermes (actuellement Musée de Cluny) les eaux drainées sur le territoire de Wissous.

(1) De aquaeductibus urbis Romæ.

Lugdunum recevait, par des aqueducs immenses, du Mont Pilat et des hauteurs environnantes, l'eau qu'elle utilisait en grande quantité pour ses thermes, qui avaient à cette époque une grande importance. Les thermes de Caracalla pouvaient contenir 3.000 baigneurs.

Fréjus, Metz, Nîmes, montrent encore des ruines remarquables. Le pont du Gard, construit en 19 av. J.-C., qui amenait à cette dernière ville des eaux de sources captées aux environs d'Uzès, traverse, à 50 mètres de hauteur, la belle vallée du Gardon et excite encore l'admiration des touristes.

L'importance de la question de l'eau potable semble avoir moins préoccupé les siècles suivants, bien que l'on retrouve au moyen-âge quelques travaux d'adduction assez importants exécutés par des moines (Pré-St-Gervais) pour les eaux des hauteurs de Romainville et de Ménilmontant.

Les progrès des travaux de captation et d'adduction « marquent le pas ». Les efforts, pour améliorer la quantité d'eau potable, se ralentissent. Il est curieux de constater que l'évolution des idées sur les qualités à exiger de l'eau potable subit une stagnation analogue.

Au début du siècle dernier encore, on ne demandait pas beaucoup plus de qualités à l'eau que du temps d'Hippocrate : dans l' *Annuaire des Eaux de France* de 1851, on lit que « l'eau peut être considérée comme bonne et potable quand elle est fraîche et limpide, sans odeur et de saveur très faible, quand elle n'est surtout ni désagréable, ni fade, ni salée, ni douceâtre, quand elle contient peu de matières étrangères, quand elle renferme suffisamment d'air en dissolution, quand elle dissout le savon sans former de grumeaux et qu'elle cuit bien les légumes ».

Dans les dernières années du XIX^e siècle, il semble qu'on ait fait plus de progrès qu'en dix siècles. L'analyse chimique plus approfondie a permis une meilleure classification des eaux et surtout, depuis la découverte de Pasteur, la microbiologie, en montrant l'origine hydrique de nom-

breuses maladies, établit nettement, par la recherche des bacilles pathogènes, la potabilité d'une eau d'alimentation.

QUALITÉS DE L'EAU POTABLE

Outre les qualités organoleptiques et physiques déjà citées — limpidité, fraîcheur, absence d'odeur et de saveur — l'eau potable doit être pure, non pas au sens où l'on entend ce mot pour l'eau distillée par exemple, c'est-à-dire privée de toute substance dissoute, mais exempte de tout ce qui pourrait nuire à l'organisme : excès de sels, présence de substances solubles toxiques, présence de microbes pathogènes surtout.

En un mot, l'eau ne doit être ni contaminée, ni toxique, ce dont on devra s'assurer par l'analyse chimique et microbiologique, sans oublier l'examen microscopique du dépôt qui peut révéler la présence d'amibes et surtout d'œufs d'helminthes.

Est-ce à dire qu'elle devra être stérile ? On a voulu prouver que la vie sans microbes était possible. Des expériences intéressantes ont été faites à ce sujet, mais généralement de courte durée, à cause de la difficulté d'éviter toute contamination. « Rien ne dit que ces organismes, plus longtemps à l'abri des microbes, eussent continué à prospérer aussi vigoureusement que des êtres ordinaires. » S'il y a des microbes dangereux, n'y a-t-il pas aussi des microbes favorables ? Metchnikoff a montré l'utilité des ferments lactiques, depuis largement utilisés en thérapeutique. Le bacille Coli-communis, hôte aussi fréquent de l'intestin humain que le ferment lactique, n'aurait-il pas une certaine part à la digestion des matières hydro-carbonées et albuminoïdes, comme le suggère M. Dienert ?

D'autre part, s'il est indubitablement fort dangereux de consommer de l'eau souillée de germes pathogènes jeunes et virulents, ne peut-on pas admettre que la consommation habituelle d'une eau de bonne qualité, mais non absolument stérile, entraîne une sorte de vaccination salutare,

conséquence de l'absorption répétée de germes saprophytes ou de quelques coli atypiques et plus ou moins dégénérés ? L'état de réceptivité particulière vis-à-vis des infections d'origine hydrique ou autres, des individus habituellement alimentés d'eau stérile et trop soucieux de se préserver de tout contact suspect, a été souvent remarqué.

Il n'en reste pas moins vrai que le risque que peut faire courir à la population d'une grande ville l'existence dans l'eau de germes particulièrement virulents doit conduire à la surveillance du périmètre d'alimentation des sources de production d'eau et à la purification de l'eau par des procédés présentant le maximum de sécurité pour la destruction des bacilles pathogènes.

Etant donné la variété des terrains d'où sont issues les eaux potables et la différence de leur composition chimique, il est assez difficile de fixer un type qui puisse servir de criterium de potabilité. Des écarts assez grands peuvent être admis dans les doses de certains éléments, dont l'interprétation est souvent délicate. On peut cependant, à titre d'indication, classer les eaux de la façon suivante :

	Eau pure	Eau potable	Eau suspecte	Eau mauvaise
Ammoniaque nitrites	0	0	moins de 1	plus de 1
Matières organiques (en 0, en liquide acide)	moins de 1	1 à 2	2 à 4	plus de 4
Nitrates	0 à 5	5 à 15	15 à 30	plus de 30
Chlorures en ClNa	moins de 30	30 à 80	80 à 160	plus de 160
Phosphates en P ² O ⁵	0	0	plus de 0,5	"
Hydrogène sulfuré	0	0	traces	"
Extraits à 180°	"	"	plus de 500	"
Sulfates en SO ⁴ Ca	moins de 10	10 à 50	plus de 50	"
Chaux totale	"	"	plus de 200	"
Magnésie.	"	"	plus de 30	"
Alcalinité en CO ³ Ca	"	"	plus de 250	"
Degré hydrotéométrique total	5 à 15°	15 à 60	60 à 100	plus de 100

Il est curieux de constater, en passant, comme l'a signalé Frillat, que le degré hydrotimétrique total, qui exprime

la dureté de l'eau, c'est-à-dire la richesse en sels alcalino-terreux, est un des procédés chimiques d'analyse des eaux potables les plus anciennement connus. On trouve, en effet, son emploi relaté dans les textes de l'antiquité grecque et latine : un vin rouge, très coloré (comme ceux que signale Pline l'ancien et Columelle, sous le nom de *vitis animæ, ungenia, fœcinia...*) était ajouté, en quantité mesurée, à l'eau à analyser, jusqu'à apparition de la coloration rouge, celle-ci étant fonction de la proportion des sels calcaires en présence. La méthode était assez sensible pour permettre une classification des eaux douces et des eaux calcaires dont les anciens redoutaient l'influence néfaste.

Dans l'appréciation des résultats, il faudra tenir compte avant tout de la nature géologique des terrains traversés. L'exemple classique, qui le montre bien, est celui des eaux de puits forés au voisinage de la mer, qui renferment des proportions considérables de chlorures. Un autre fait intéressant à connaître est celui de la constance de composition des sources à grand débit (au moins 10 litres à la seconde). Si l'eau analysée provient d'une source ou d'un puits alimenté par la même nappe que la source à grand débit et si la composition en est différente, on peut suspecter une contamination. En général, toute eau présentant des variations de composition est suspecte et cela d'autant plus que ces variations sont plus brusques.

Les nitrates, témoins d'une épuration biologique des terrains traversés, ne peuvent suffire à la rendre suspecte. L'ammoniaque, par contre, est un indice de mauvaise filtration dans le sol et les nitrites, sont le plus souvent, une preuve de contamination récente. Cependant, on admet qu'ils peuvent prendre naissance dans le sol, dans certains cas, sous l'effet d'une dénitrification microbienne, mais sans germes suspects.

L'interprétation de la potabilité d'une eau est donc souvent très difficile par la simple analyse chimique. Le seul moyen de l'apprécier est d'en faire l'analyse microbiologique qui fixera sur la quantité et la qualité des germes contenus.

La numération totale des germes d'une eau se fait par ensemencement sur plaque de gélatine et culture à 18 ou 20° C. Les colonies poussent avec des formes assez caractéristiques pour pouvoir en faire souvent la différenciation. Elles sont comptées le quinzième jour; plus tôt si les germes liquéfiant menacent la plaque. Dans ce cas, leur nombre est multiplié par un coefficient donné par les tables de Miquel et Vincent et rapporté au quinzième jour.

A l'étranger, on préfère souvent la numération sur gélose, à 37° en 48 h., qui produirait une sorte de sélection au profit des germes d'origine humaine (?).

Au point de vue qualitatif, on prend comme témoin de la pollution d'une eau le bacille coli-communis. Cet hôte habituel de l'intestin humain est plus facile à déceler que les germes pathogènes dont on peut caindre la présence dans l'eau et, comme il a la même origine, il est logique de déduire de sa présence en quantité notable la souillure de l'eau par des déjections et la probabilité de sa contamination par des microbes dangereux.

On a même cherché à établir l'origine des différents colibacilles que l'on trouve dans l'eau, pour essayer de reconnaître ceux plus dangereux qui seraient certainement d'origine humaine. Nous n'entrerons pas dans la description des différentes techniques qui ont pour but cette différenciation. Nous dirons seulement que les principales d'entre elles sont basées sur la culture de l'eau en milieu légèrement antiseptique pour les germes saprophytes, afin de détruire la concurrence vitale au profit du colibacille moins sensible (acide phénique au 1 0/00, vert malachite, bile, etc...), et sur la recherche des principaux caractères du colibacille, germe Gram négatif peu ou pas mobile, indologène en milieu peptoné, faisant virer le rouge neutre avec fluorescence, fermenter le lactose avec production de gaz et ne faisant pas fermenter le saccharose.

Le caractère indologène du colibacille peut se montrer en défaut et nous avons constaté parfois, comme l'ont signalé déjà plusieurs auteurs, qu'une souche, non indologène à son isolement de l'eau, peut récupérer son pou-

voir de produire de l'indol par plusieurs cultures en milieu peptoné. D'où l'intérêt de ne pas omettre l'isolement du coli et la recherche de ses caractères de fermentation quand on veut être exact.

On peut admettre, par contre, que ces coli-atypiques n'ont pas tout à fait la même valeur indicative de contamination que les coli ayant gardé tous leurs caractères.

Il semble bien, en effet, que ces germes existent depuis longtemps dans l'eau et que l'absence de leurs caractères typiques soit la marque d'une perte de vitalité qui n'a pas dû épargner les bacilles pathogènes qui peuvent être présents dans la même eau.

MM. Dienert et Guillerd ont même basé, sur l'intensité de la production d'indol, une méthode pour la différenciation des coli d'origine récente, dont nous avons constaté la fidélité (1).

Il peut également être intéressant de rechercher d'autres germes dont l'origine intestinale peut faire qualifier l'eau de suspecte, même en l'absence du colibacille qui a pu disparaître sous l'effet d'une concurrence vitale particulière, comme l'ont montré M. Rochais et Mlle Urtinette (antagonisme du colibacille et des bactéries putrides).

Les germes de la putréfaction, l'entérocoque, le streptocoque, que les Anglais recherchent couramment, les colonies noircissant la gelose au plomb (bacilles typhique et paratyphique B), les anaérobies, en particulier le *perfringens* (sur milieu de Wilson et Blair au chlorure ferreux et au sulfite de soude) ne doivent pas être décelés dans une eau vraiment pure.

Pour l'interprétation des résultats, suivant le nombre des colibacilles et de tous les germes saprophytes, on peut classer les eaux dans les limites marquées par Miquel et Vincent.

(1) Les peptones commerciales sont souvent de valeurs très différentes pour la recherche de la production d'indol. Il est bon d'essayer chaque lot nouveau pour s'assurer de sa qualité, avec une souche de coli à pouvoir indologène connu.

MIQUEL	Germes par cc.	VINCENT	B. coli par litre
Eau excessivement pure	0 à 10	Eau profondément souillée par les matières fécales	40.000
Eau très pure . . .	10 à 100	dangereuse pour la bois- son (eaux d'égout, de ri- vière)	à 50.000
Eau pure	100 à 1 000	Eau mauvaise ou très mau- vaise impropre à la bois- son (eaux de rivière, de puits contaminés) . . .	1.000 à 10.000
Eau médiocre . . .	1.000 à 10.000	Eau suspecte, tantôt en pé- riode d'infection légère, tantôt au début ou au dé- clin d'une contamination plus grande.	100 à 1.000
Eau impure	10.000 à 100.000	A surveiller	50 à 100
Eau très impure . .	100.000 et au-delà	Eau d'assez bonne ou de bonne qualité	10 à 50
		Eau pure ou très pure . . .	0

LE SERVICE DES EAUX A NANTES

Avant le XIX^e siècle, l'approvisionnement en eau se faisait soit directement à la Loire (souvent on allait en canot remplir une tonne au milieu du fleuve), soit à des puits publics ou privés.

Au XVI^e siècle, on comptait 7 puits principaux dont l'entretien était l'objet de dépenses inscrites au budget de la Ville : les puits du Bignon-Letard, du Change, du Marchix, du Pilori, de St-Léonard, de la place St-Pierre et de la place St-Nicolas.

En 1565, Cardin Valence, fontainier à Tours, proposa l'installation d'une fontaine, mais le projet ne fut pas réalisé.

Au début du XIX^e siècle, Nantes était pourvue de 17 puits publics, dont le nombre progressa en suivant le développement des quartiers suburbains. Leur état de propreté était soigneusement vérifié ; on les faisait périodiquement curer et goudronner. Le puisage se faisait avec des seaux suspendus à des chaînes ou à des cordes passant sur des poulies. Le puits de St-Pierre pouvait recevoir jusqu'à 4 paires de seaux. Puis des pompes remplacèrent les seaux.

En 1806, une entreprise de filtrage des eaux de la Loire s'établit dans un chantier proche des douves du Château, rue des Etats ; elle était munie d'une machine hydraulique et tenue de fournir l'eau nécessaire en cas d'incendie.

A la même époque, Jamon établit une autre entreprise, quai de l'Île Gloriette. Vingt voitures, chargées chacune d'un tonneau de la contenance de trois barriques devaient être disponibles chaque nuit pour parer aux incendies.

En 1833, les porteurs d'eau allaient remplir leurs ton-

neaux à une fontaine installée à la pointe amont de l'Île Feydeau, juste à l'extrémité de la poissonnerie.

Quant aux puits particuliers, il ne semble pas qu'ils fussent soumis à une surveillance spéciale.

Dès 1829, la Municipalité reçut les demandes de concession pour la création d'un véritable service d'eau.

En 1838, un concours fut ouvert pour récompenser les trois meilleurs projets conçus pour une distribution d'eau à la Ville. Le premier prix, de 3.000 francs, fut décerné à M. Jegou. L'étude de la question fut poursuivie sans arrêt et un contrat fut signé avec la Compagnie des Eaux en 1852.

En 1854, la Compagnie des Eaux, déclarée concessionnaire, réalisa l'alimentation de la Ville en eau de Loire brute, à raison de 5.000 m³ par jour, suivant les projets de MM. Jegou et Wattier. L'eau était puisée en face le quai Richebourg.

Les puits municipaux furent tous remplacés par des bornes-fontaines en 1857.

Le 1^{er} juin 1895, la concession fut rachetée par la Ville. La quantité d'eau distribuée atteignait 10.000 m³.

Divers projets furent alors étudiés en vue de donner de l'eau potable. Le but à réaliser par étapes successives était d'arriver à fournir journallement 40.000 m³ d'eau. On discuta pour savoir si une partie seulement de cette eau, celle destinée à l'alimentation, évaluée environ au quart, serait épurée. A la suite des essais de filtration réalisés sous la direction de M. Michel et sous les contrôles bactériologiques de M. le Docteur Rappin, on décida la création de bassins de filtration à sable pour la quantité totale que l'on pouvait fournir à ce moment (20.000 m³), réservant l'adoption d'un système meilleur pour les 10.000 m³ de l'étape suivante, que l'on destinerait à l'alimentation, au cas où les résultats pratiques ne seraient pas satisfaisants.

Les travaux ci-dessous furent ainsi envisagés et exécutés:

1° Déplacement de la prise d'eau en Loire ; établissement d'une nouvelle usine élévatoire, d'une conduite d'amenée et d'une

conduite de refoulement ; travaux réalisés sous la direction de M. Cady, de 1885 à 1899 ;

2° Etablissement de nouvelles machines élévatoires ; exécution de bassins filtrants à sable, pose d'une conduite de refoulement. Exécution d'un réservoir de 20.000 m³ : travaux réalisés en 1900 et 1901 suivant les projets dressés par MM. Michel, Primault et Cady ;

3° Pose d'une deuxième conduite de refoulement entre l'usine élévatoire et le réservoir de la Contrie ; pose de 2 conduites maîtresses de recouplement, augmentation de 10.000 m³ par jour du volume à distribuer ; établissement d'un troisième groupe de générateurs et de machines élévatoires ; extension du réseau de distribution : projets dressés par M. Michel en 1902 et réalisés depuis.

Divers autres projets avaient été étudiés et n'ont pas été retenus :

1° Epuration par procédé « Howvatson » qui a été repoussé (rapport de M. Michel 1899) ;

2° Adduction d'eaux de sources. L'étude présentée par MM. Michel et Rappin en 1899 avait pour but le captage des sources et eaux souterraines des vallons granulitiques de l'Ègue, du Blanc, de la Rigole, de l'Aujardière et de la Vousaie— petits affluents de la Sèvre Nantaise — dans la région située à 80 km au Sud-Est de Nantes, à l'amont de Mortagne-sur-Sèvre. Le drainage des vallons se serait fait, comme pour Rennes et Quimper, par de petits aqueducs dont le développement total aurait atteint 14.180 m. Des tuyaux en grès auraient amené le produit des drains jusqu'à l'aqueduc principal qui aurait parcouru 80 km 290 m. dont 45 km 220 m. en siphon et en fonte et le reste en aqueduc maçonné, pour aboutir au réservoir de la Contrie.

L'eau de cette nappe souterraine pouvait être de qualité supérieure à celle de la Loire filtrée, mais elle n'était pas exempte de risques de contamination (fissures avant le point d'émergence, etc...), risques d'autant plus grands que l'éloignement augmentait la difficulté de surveillance des abords. De plus, l'acquisition d'un périmètre de protection suffisant (la Ville aurait dû acquérir 29 hectares aux abords des captages) et les travaux d'adduction nécessitaient une dépense de près de 9 millions.

3° Création de puits filtrants verticaux, procédé Lefort 1906.

Ce système, qui avait fait l'objet d'une communication de M. le Docteur Bertin à l'Association Française pour l'avancement des Sciences (séance du 1^{er} août 1898) n'a pas reçu l'approbation du Conseil Supérieur d'Hygiène qui semble l'avoir condamné trop sévèrement (voir rapport de M. Michel 1905).

Avant d'aborder l'exposé de l'organisation actuelle du service d'eau, nous ne dirons qu'un mot des puits qui constituent, au moins pour les quartiers sans eau de la ville, une alimentation de moins en moins suivie.

Creusés dans des terrains d'alluvions et sur un fond de gneiss, ils pourraient du fait de leur situation géologique, fournir une eau de qualité appréciable, mais ils sont presque tous contaminés par les nombreuses causes de pollution qui résultent d'une aussi forte densité de l'agglomération.

La proportion des puits reconnus mauvais, sur environ 400 échantillons prélevés ces dernières années, est de 80 0/0. C'est dire la nécessité de supprimer de plus en plus l'usage alimentaire de telles eaux, et de le remplacer par l'emploi exclusif de l'eau délivrée par le Service Municipal.

ORGANISATION ACTUELLE

Captage.

L'installation actuelle est ainsi réalisée :

L'eau brute est captée en Loire, un peu en amont du pont de la Vendée, et amenée par gravité dans des puits munis de crépines, d'où elle est refoulée sur les appareils de filtration.

Filtration.

L'épuration des eaux se fait par filtration sur filtres à sable lents précédés de dégrossisseurs.

1^o Les dégrossisseurs du système Puech-Chabal com-

prennent 32 bassins divisés en trois séries, que l'eau brute traverse successivement. Chaque bassin, rectangulaire et d'environ 15 m. sur 4 m., est constitué par une sorte de cuve aux murs cimentés, au fond également cimenté et légèrement incliné. Un plancher, formé de plaques de fonte perforées, reçoit une couche de graviers dont l'épaisseur et le calibre diffèrent suivant les séries :

la première série contient : 20 cm. de graviers assez gros de 12 à 15 mm. de diamètre ;

la deuxième : 30 cm. de graviers de 8 à 10 mm. de diamètre ;

la troisième : 40 cm. de graviers de 4 à 7 mm. de diamètre.

L'eau, ainsi privée d'une grande partie de ses matières en suspension et notablement clarifiée, est conduite par des canaux en parallèles sur :

2° 28 filtres à sable submergé, à air libre, sensiblement égaux en superficie, d'une surface totale d'environ 13.000 m².

Chaque bassin comporte un plancher formé de dalles filtrantes à joints cimentés en béton maigre (1), qui supporte 1 m. de sable de Loire lavé passant au crible de 3 mm. La hauteur d'eau admise sur le filtre est de 1 m.

Les eaux filtrées, dirigées sous le poste de javellisation, où elles sont traitées en cas de besoin, subissent un brassage énergique en se heurtant à des chicanes verticales et horizontales, puis sont emmagasinées dans de vastes citernes d'une capacité d'environ 20.000 m³. Ces réservoirs, servant de tampon entre les machines et les filtres, ont pour but de permettre une certaine variation de débit dans le refoulement de l'eau sur la distribution, sans que l'on soit pour cela obligé de faire varier le débit des filtres.

(1) Avant l'emploi des dalles filtrantes (que l'on fabrique avec un mélange de sable et de ciment), le sable était supporté par des étages successifs de briques, de gros cailloux et de gravier lavé. Les eaux filtrées étaient recueillies par des drains en forme d'arête de poisson.

Adduction et é'evation des eaux.

L'eau filtrée est aspirée du collecteur et refoulée sur les réservoirs de la Contrie par deux conduites de 800 mm., en fonte, qui assurent en même temps la distribution en route.

L'usine élévatoire comprend :

1° Une machine compound « Friekart » de 140 à 310 chevaux, marchant de 18 à 28 tours par minute, conduisant une pompe verticale pour l'alimentation des bassins filtrants ;

2° Deux autres machines du même type de 130 à 250 chevaux, marchant de 18 à 30 tours par minute. Ces dernières machines n'ont pas de pompe pour l'alimentation des bassins filtrants.

Les pompes Girard sont accouplées directement sur les tiges des pistons moteurs de ces machines ; elles débitent chacune de 150 à 200 litres par seconde et refoulent une hauteur manométrique variant de 46 m. 50 à 60 m. 50.

3° Quatre machines à vapeur monocylindrique horizontales, de 18 à 58 chevaux, marchant de 30 à 47 tours par minute, actionnant chacune une pompe nourrice verticale du système Girard à double effet, commandée par manivelle en bout d'arbre moteur. Ensemble, ces pompes peuvent donner de 175 à 290 litres par seconde, avec une hauteur de refoulement variable de 4 à 11 mètres. Elles servent uniquement à l'alimentation des filtres lorsque la deuxième ou la troisième machine fonctionne.

4° Un réservoir d'air sur chaque pompe Girard et un réservoir général d'air au-dessus de la tubulure de refoulement. Ce dernier présente 1 m. 30 de diamètre et une hauteur de 2 m. 60.

5° Cinq générateurs de vapeur, du type semi-tubulaire, de 105 m² de surface de chauffe chacun, dont 2 ont été équipés avec foyers soufflés, système « Société des Foyers Economiques », et deux autres avec foyers soufflés, système « Société Wilton ».

La consommation de combustible : 50 0/0 de poussier de coke et 50 0/0 de charbon pour 1.000 m³ élevés à un mètre, est en moyenne de 5 kgs 600 vaporisant, à 7 kgs de pression effective. 8 litres 600 d'eau pure à 0°.

Réservoir en service.

Il n'y a qu'un réservoir en service. Ce réservoir, construit au lieu dit la Contrie, point culminant situé au Nord-

Ouest de la Ville, à 7 km. 500 environ de l'usine élévatoire, présente une contenance de 20.000 m³.

Il est entièrement en élévation et comprend deux étages et trois compartiments. Les deux compartiments du bas ont chacun une capacité de 6.300 m³, et celui du haut de 7.400 m³, avec des hauteurs respectives d'emmagasinement de 5 m. et 4 m. Ce réservoir est construit entièrement en maçonnerie, voûté en berceau à plein cintre et enduit en ciment. Il est, en outre, recouvert d'un matelas en terre. Son étanchéité est presque parfaite, puisque les pertes constatées dans les drainages intérieurs atteignent à peine un demi-mètre cube en 24 heures.

La conduite de refoulement, reliant l'usine élévatoire au réservoir de la Contrie, présente un développement de 8 km. environ. Son diamètre est de 800 mm.

En 1906 et 1907, une deuxième conduite de refoulement de même diamètre a été posée sur une longueur de 8 km. 500 environ, ainsi que deux conduites de recouplement : l'une de 800 mm. et 500 m. de longueur, l'autre de 500 mm. et d'une longueur de 1.350 m. Ces conduites font le service en route. Elles sont généralement posées en terre. Toutefois, à l'intérieur de la ville, sur 2 km. environ, la conduite N° 1 est posée en galerie suivant un procédé que l'on tend à généraliser pour éviter les graves conséquences d'une rupture en cas d'affaissement de terrain. Le réservoir se trouve en bout de conduite.

Distribution.

La distribution se fait en cours de route, par prises sur les canalisations alimentées directement par les deux conduites de refoulement, lorsque les machines élévatoires fonctionnent. En cas d'arrêt des machines, ou lorsque la consommation dépasse la quantité d'eau refoulée, le réservoir de la Contrie sert à l'alimentation des deux conduites de refoulement dans lesquelles la circulation est inversée.

Il n'y a pas de zones diverses de pression. La distribution est constante sous une pression variant, suivant les altitudes et la situation des quartiers desservis, de 25 à 50 mètres.

Au 31 Décembre 1933, le réseau comprenait 315.656 mètres de canalisation.

Il comportait, en outre, 1.753 vannes de 40 mm. à 800 mm. de diamètre.

Les tuyaux sont en fonte généralement. Il existe cependant 3.795 m. de tuyaux d'acier.

Branchements particuliers.

Les branchements particuliers, au nombre de 15.290, sont en plomb étamé. Le service n'intervient pas en ce qui concerne l'emploi de l'eau ainsi distribuée.

Il n'y a plus de robinets de jauge. Chaque branchement particulier est muni obligatoirement d'un compteur. Il existe ainsi 12.400 compteurs généraux des systèmes « Maurice Eyquem », « Eyquem rotatif », « Stella », « Etoile », « Aster », « Bariquand », « Frager », « Lutèce », « Lafayette », « Samain ». Il existe des compteurs divisionnaires pour locataires, ces compteurs ne sont pas obligatoires et sont placés par les intéressés.

Conduite à la filtration.

La filtration artificielle sur sable a été appliquée à l'épuration des eaux des grandes villes depuis le début du XIX^e siècle.

Londres fût l'une des premières à utiliser, pour les eaux de la Tamise, les bassins construits en 1829 par l'ingénieur Simpson, d'où le nom de filtre anglais encore souvent donné au filtre à sable submergé.

L'efficacité de la filtration dépend de plusieurs facteurs qu'il importe de ne pas méconnaître :

1° *EPAISSEUR DE LA COUCHE DE SABLE.* — En principe, l'eau est d'autant mieux épurée que la couche de sable est plus épaisse. Elle varie, dans certaines installations, de 0 m. 40 à 1 m. 50, mais l'épaisseur généralement adoptée pour la filtration lente est de 0 m. 90 à 1 m. Les nettoyages successifs et les phénomènes de tassement obligent à mettre, dès le début, une couche d'une épaisseur plus grande que celle qui serait nécessaire (ne pas descendre à moins de 0 m. 60).

2° *COMPOSITION DU SABLE.* — En France, on utilise surtout le sable de Loire silicieux et feldspatique. Les sables diluviens quartzeux conviennent également, mais, pour une bonne filtration, le sable ne doit pas contenir trop d'éléments solubles, en particulier, de carbonate de chaux. (Pas plus de 2 0/0 de carbonate alcalino terreux). Le passage de l'eau peut, en effet, par dissolution, entraîner la formation de vides ou de tassements nuisibles à la régularité de la filtration.

3° *DIMENSION DES GRAINS DE SABLE.* — Quel que soit le volume des grains de sable, le rapport entre les espaces laissés libres entre eux, et occupés par l'air ou par l'eau, au volume total, est à peu près constant. (1/3)

Mais ce n'est donc pas, comme on a pu le croire autrefois, à la diminution du volume des espaces libres, relativement au volume total de sable qu'est due une meilleure filtration, quand on diminue le volume des grains de sable. C'est à une plus grande surface de contact intime entre le sable et l'eau, le pouvoir filtrant, étant directement proportionnel à la force attractive des grains, celle-ci s'exerçant en raison inverse de la distance.

En vertu des mêmes lois, la vitesse de pénétration dépend également du degré de finesse des éléments filtrants.

On emploie généralement des sables ayant des grains de 0 mm. 15 à 3 mm. On les définit souvent selon Allen Hazen par leur :

a) *Grandeur effective.* — Diamètre d'une sphère dont le volume serait supérieur à 10 0/0 des grains les plus fins de ce sable et inférieur à 90 0/0 des grains les plus gros.

b) *Coefficient d'uniformité.* — Quotient du chiffre indiquant la taille d'un grain de sable, qui serait plus gros que 60 0/0 des grains du sable considéré, par le chiffre représentant la dimension d'un grain qui serait plus gros que 10 0/0 des grains du sable envisagé. Ce coefficient varie de 1.7 à 3 ; pour les sables lavés, il atteint 3.8.

Voici, du reste, une formule de Allen Hazen, qui résume ces données :

La quantité d'eau, que laisse passer, par unité de temps, une couche de sable, sera donnée par la formule suivante où :

V = la vitesse de filtration, c'est-à-dire la hauteur de la tranche d'eau filtrée par jour ;

C = un coefficient voisin de 1.000 ;

d = la taille effective des grains en mm. ;

h = la perte de charge ;

l = l'épaisseur de la couche filtrante ;

t = la température en degrés centigrades :

$$V = Cd^2 h/l (0.07 + 0.03 t)$$

le débit varierait donc, toutes choses égales d'ailleurs, dans le rapport de 0.70 - 1. - 1.30 - 1.60, pour des températures respectives de 0° - 10° - 20° - 30°.

4° *DISPOSITION DU FILTRE.* — Les parois et le fond des bassins doivent être étanches et le filtre doit être établi de telle sorte que les eaux ne puissent atteindre le drain collecteur sans avoir traversé le sable sous une épaisseur suffisante.

La mauvaise filtration le long des parois a été depuis longtemps remarquée. Des phénomènes de rétraction de la couche filtrante ont été également signalés. De là découlent :

a) La supériorité des bassins d'assez grande dimension qui ont proportionnellement une moins grande surface de parois, (avantage qui compense largement l'inconvénient qui peut résulter d'une vitesse de filtration un peu différente pour les divers points de la surface filtrante). (1)

b) L'utilité d'un dispositif d'évacuation des eaux qui ont filtré le long des parois.

La répartition régulière du sable a une grande importance, comme le montrent les extraits du cahier des char-

(1) Diénert. Annales des Services techniques d'hygiène de la Ville de Paris 1931.

ges de la Ville de Washington, cités par M. Le Couppey de la Forest : « Le sable filtrant doit être placé sur les filtres en trois couches, chaque couche devant avoir une épaisseur d'environ 0 m. 30 ; lors de sa mise en place, le sable ne doit pas être jeté de haut ou disposé d'une façon quelconque, ce qui aurait pour résultat de le tasser irrégulièrement. Les deux premières couches doivent être posées jusqu'à la hauteur approximative qu'elles devront atteindre, sans qu'il soit nécessaire d'égaliser leur surface. La dernière couche doit être placée par fractions égales et régulières et sa surface établie plane et uniforme, et l'on devra se conformer dans cette opération à toutes les recommandations que fera l'ingénieur chargé de la surveillance des travaux.

« L'épaisseur du sable dans les différents bassins filtrants devra être quelque peu différente, afin de permettre, après la mise en service, de remettre, sur certains bassins, le sable nettoyé provenant d'autres bassins. »

Chaque bassin filtrant doit posséder un système de réglage de débit et des vannes permettant son isolement et l'évacuation de ses eaux, si elles sont reconnues insuffisamment épurées.

5° *MARCHE DES FILTRES.* — Le remplissage du bassin prêt à fonctionner se fait avec de l'eau déjà filtrée, de bas en haut, à vitesse réduite, en une douzaine d'heures environ, de manière à chasser régulièrement l'air emprisonné dans l'épaisseur du sable et à éviter les poches d'air qui seraient nuisibles à la bonne marche de la filtration.

Quand l'eau filtrée atteint une dizaine de centimètres au-dessus du sable, on arrête son admission et on laisse arriver l'eau brute à la partie supérieure, jusqu'à ce que le niveau de 1 mètre au-dessus du sable soit atteint. On laisse alors reposer une journée pour favoriser le tassement du sable imbibé d'eau, puis on commence la filtration, d'abord très réduite (1 m³ par 24 heures environ) puis progressivement de 2 m³ à 2 m³ 4 vers le quatrième jour. (Ce mode de mise en marche a son importance).

Nous nous étendrons un peu plus longuement sur certaines phases de la marche des filtres particulièrement importantes.

Maturation.

Pendant cette période de mise en train, l'eau filtrée est renvoyée au fleuve et il est bien rare que l'eau puisse être suffisamment pure pour être collectée le quatrième jour. On dit alors que le filtre n'est pas « mûr ».

Cette maturation des bassins rechargés ou neufs demande de 4 à 10 jours ou plus (nous avons noté un cas à 14 jours pour le bassin 28, Novembre 32, avec une eau brute à 2.000 coli par litre et 28.000 germes par centimètre cube) ; elle est d'autant plus rapide que l'eau brute est moins chargée en germes.

On conçoit dès lors toute l'importance du contrôle bactériologique journalier, qui permet de ne mettre le bassin « en service » que lorsque l'eau filtrée est suffisamment pure.

Nous avons fait plusieurs expériences à ce sujet et nous avons remarqué l'importance qu'il y a à laisser le filtre au repos pendant un certain temps, entre son remplissage et sa mise en action à vitesse progressive.

En Mars 1933, les bassins 23, 21, 1 et 7 mis en vidange, sans repos, après remplissage, demandent respectivement 14, 13 et 6 jours avant d'épurer l'eau à < 10 coli ; encore ces deux derniers n'eurent-ils à filtrer qu'une eau brute à 100 coli au litre. Par contre, les bassins 22, 18, 6 et 2 mis en repos une demi-journée après leur remplissage par de l'eau filtrée, comme nous l'avons vu pratiquer à Londres, puis alimentés d'eau brute et mise en vidange progressive, donnent < 10 coli au bout de 5, 6 et 4 jours, avec une Loire variant de 300 à 800 coli au litre.

Membrane biologique.

Il se forme, au début de la vie du filtre, une sorte de colmatage des couches supérieures, une véritable membrane dont l'importance subit bien des vicissitudes, suivant l'avis favorable ou non de nombreux auteurs.

Au début de l'emploi des filtres à sable, on a cru trouver la raison de leur action dans la présence de cette couche

mucilagineuse formée par l'accumulation des boues et de toutes les matières en suspension. On ne voyait, à ce moment, dans la filtration, qu'un moyen d'améliorer la limpidité de l'eau. C'est, sans doute, contre cette conception qu'a voulu s'élever Bonjean quand il parle de « vases et de produits organiques de toutes espèces accumulés à la surface des filtres submergés où sont entretenus avec méthode un magma putride et des cultures typiques des eaux marécageuses, afin de produire le « mûrissement » des filtres. Mot qui a eu son heure de fortune et qui stigmatise bien le procédé d'épuration qu'il caractérise ».

Ce colmatage pouvait bien, en effet, avoir une certaine action, mais on s'aperçut vite qu'il fallait demander plus et on s'attacha à l'étude de l'épuration microbienne.

Les eaux furent privées par décantation ou préfiltration d'une grande partie de leurs matières en suspension. Les filtres furent ainsi soulagés d'une bonne partie des matières organiques qui, se décomposant lentement, venaient envahir la masse du sable, et servir de nourriture aux microbes dont elle favorisait la pullulation.

Malgré cela, on continuait à observer une membrane sur les bassins filtrants. De nombreux auteurs l'examinèrent au microscope et étudièrent son action sur la filtration en lui attribuant plus au moins de valeur. Strohmeyer, à Hambourg, a détaillé plus de 160 espèces d'algues appartenant surtout aux Chlorophycées, au Bacillariées, aux Polychromacées. Kemna, d'Anvers, montra la prédominance de certaines espèces selon les saisons. Clark et S. Gage prouvèrent, par leurs expériences, l'action de cette membrane biologique.

Voici ce que l'on observe couramment en été (1) :

Une première végétation formée de diatomées filamenteuses (aux articles juxtaposés bout à bout ou côte à côte).

(1) Ces observations nous ont été aimablement communiquées par M. Etrillard, chef de laboratoire du Service des Eaux de la Ville de Paris.

Mélosira, Fragillaria, Diatomées vulgare et tenue, quelques algues vertes monocellulaires, genre Penium.

Une deuxième végétation : une pellicule mince, vert foncé, plus ou moins continue et suffisamment adhérente pour ne pas aller flotter en surface, prend bientôt la place de la première génération, dont la membrane discontinue est éphémère et sans action. Ce sont des Chorophycées : scenedesmus, stanrastrum magnum, cosmarium, pandorina, pediastrum, protococcus... Cette couche forme la vraie membrane biologique.

La troisième végétation est formée d'algues vertes filamenteuses. On voit se développer, sur la membrane précédente, des petits disques de coloration vert tendre, devenant bientôt envahissants. Sous forme de buissons touffus, elles poussent jusqu'à la surface leurs prolongements, aux formes capricieuses ressemblant à des pyramides, à des lianes, à de longues et fines chevelures (genre chladophora, stygeoclanum, spirogyra, aux articles généralement cloisonnés).

Au bout d'un certain temps, les algues vieillissent, perdent leur belle couleur verte et tombent au fond de l'eau où leurs filaments brunis se recouvrent de myriades de diatomées (encyonema et navicula) (1). Les spirogyra, moins envahissantes, forment souvent des petites touffes qui peuvent se détacher et venir flotter à la surface.

Quelle est l'influence de ces algues sur la filtration ?

La couche biologique, en plus de son action mécanique, peut agir sur les microbes pathogènes par oxydation, à l'aide de l'oxygène naissant provenant de l'assimilation chlorophyllienne des algues vertes par concurrence vitale, grâce aux nombreux saprophytes et aux protozoaires qui sont retenus à sa surface. MM. Dienert, Etrillard, Gizolme,

(1) Pour se débarrasser des algues mortes qui, par le feutrage de la couche filtrante qu'elles provoquent, augmentent bientôt la perte de charge, on peut accélérer momentanément l'arrivée de l'eau sur le bassin : la montée du niveau provoque un léger remous et permet leur évacuation par le trop plein.

ont signalé que le pouvoir d'épuration des filtres submergés, non couverts, étaient en rapport avec la vitalité des algues et qu'il pouvait se mesurer par la diminution d'alcalinité qui résulte de leur activité.

Nous avons de même constaté, par une série d'expériences (bassins 3, 4, 19 ; 23 octobre 1932), que l'eau des bassins où se développaient de nombreuses algues était caractérisée par une diminution d'alcalinité de 7 à 8 mg. de carbonate de chaux.

L'étude bactériologique comparée des eaux filtrées n'a pas donné de résultats probants. Cependant, nous avons noté une certaine irrégularité de marche dans les bassins 3 et 19, par grands vents : apparition brusque de 40 à 50 coli par litre, avec 250 et 290 germes au centimètre cube, due à l'arrachement par le clapotis de grandes algues en touffes, qui ont entraîné avec elles une partie de la membrane biologique et déplacé la couche superficielle du sable.

Nous avons, par contre, une fois, nettement observé un goût de poisson dans l'eau d'un certain nombre de bassins dont les algues s'étaient rassemblées à la surface, à la suite d'un fort orage. Ce goût, à peine perceptible dans l'eau filtrée, s'accroissait par l'addition de 0 mg. 10, 0 mg. 20, 0 mg. 30 de chlore. Sir Alexander Houston nous a dit avoir remarqué, dans les eaux filtrées de la Tamise, ce même phénomène qu'il attribue à la présence d'algues du genre *tabellaria*. Ces observations confirment celles déjà faites par le Professeur Dienert, qui a parfois rencontré, dans les eaux de la Seine filtrées, un goût dû à la mise en liberté de produits huileux, lors de la décomposition des algues, à certaines périodes de filtration irrégulière.

Ce goût ayant coïncidé avec un test d'absorption de chlore élevé (0 mg. 8), nous avons cherché s'il était toujours en rapport avec le test de chlore et s'il correspondait à une teneur particulièrement élevée en matières organiques. Nos expériences ne l'ont pas vérifié. Nous avons retrouvé ce goût quelques jours après, mais il était seulement déce-

lable par addition de chlore. Le test de chlore était à ce moment de 0 mg. 30 et la teneur en matières organiques de 1 mg. 1, dosées en milieu alcalin et de 2 mg. en milieu acide. Nous avons, en même temps, observé dans les expériences que résume le tableau suivant, ainsi que le Professeur Dienert et les auteurs américains l'avaient constaté pour le goût d'iodoforme résultant de l'action du chlore sur plusieurs produits dérivés du goudron ou composés à radical phényl, qu'un léger excès de chlore détruisait le goût révélé ou produit par de faibles doses, comme si cet excès était nécessaire pour oxyder la substance sapide produite ou empêcher sa formation. Le plus souvent, le goût disparaissait avec un excès de chlore de 0 mg 2 en plus de la dose correspondante au test gamme de deux heures.

Les essais de traitement au permanganate de potasse, celui-ci étant ajouté à l'eau avant son traitement par le chlore, ont permis d'établir que la dose efficace pour empêcher l'altération du goût par le chlore (0 mg. 4 à 0,5 par litre) était légèrement supérieure à la dose absorbée en deux heures par les matières organiques à la température du laboratoire.

Expériences du 24 Septembre 1931

	Test Cl. 0 mgr 3	Test 0,3	Test 0,3	Test 0,3	Test 0,3
ans MnO ₄ K.					
lore (en 1/10 ^e mgr.)	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4
out	— + + — —	— + + + — —	+ + + + — —	+ + + + — —	+ + + + —
avec MnO ₄ K.	1 mgr 0/00	0,50 0/00	0,40 0/00	0,35 0/00	0,25 0/00
lore (en 1/10 ^e mgr.)	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4
out	— — — — —	— — — — —	— — — — —	— — + — —	— — + — —
ouleur au bout de 2 heures.	Nettement rose	Légèrement colorée	A peine colorée	Décolorée	Décoloré

Il semble donc que les algues aient plus d'inconvénients que d'avantages. Faut-il les détruire ? Les arracher peut être dangereux pour la structure de la couche supérieure du filtre. Couvrir les bassins empêche leur développement, mais oblige à des transformations dispendieuses et met obstacle à l'action stérilisante, non négligeable, du soleil. Les Anglais, qui sont parfois fort gênés par la prolifération abondante d'algues microscopiques (*ocillaria*, *fragil-laria*, etc...) dans les immenses réservoirs où le « storage » prépare leurs eaux à la filtration, y introduisent 0 mg. 1 de sulfate de cuivre par litre, pour lutter contre cette végétation indésirable.

Peut-être pourrait-on arroser la surface des filtres avec cette solution de sulfate de cuivre dosée de façon à empêcher l'exubérance des grandes algues, tout en ménageant la membrane biologique (?). En tout cas, il est recommandable de vider et de nettoyer les bassins où l'on voit des algues abondantes se flétrir, leur décomposition ne pouvant occasionner que des ennuis.

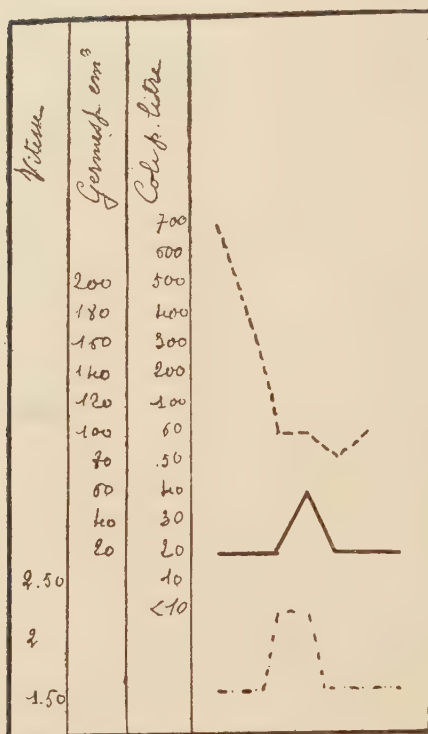
Vitesse de filtration.

La vitesse de filtration de chaque bassin peut être réglée en faisant varier la hauteur d'eau admise au-dessus de la couche de sable ou en agissant par un jeu de vannes sur les collecteurs d'eau filtrée.

Miquel, autrefois, indiquait la vitesse maxima de 1 m³ 92 par m² et par 24 heures pour les installations de Saint-Maur et d'Ivry. La vitesse la plus généralement admise pour les filtres lents, est d'environ 2 m³ 40. C'est celle qui est adoptée à Nantes, avec des variations extrêmes de 1 m³ 55 à 2 m³ 60 ; elle dépend de la qualité de l'eau brute et doit être d'autant plus faible que la turbidité et la pollution du fleuve sont plus considérables.

Il importe surtout d'éviter les augmentations de vitesse trop rapides. Les brusques changements de débit sont néfastes à la bonne filtration, comme en témoigne le gra-

Graphique I



Légende { Coli eau filtrée ———
 Coli Lave - - - - -
 Vitesse de filtration

phique suivant, sans doute en provoquant des « renards » ou voies d'eau mal filtrée par dislocation de la couche filtrante, tassements inégaux ou rétraction de la surface du filtre.

Nettoyage.

Au bout d'un certain temps de marche, variable suivant la pollution de l'eau brute et dégrossie (1), on voit le débit

(1) Moyenne entre 2 nettoyages : été 7 à 9 jours, hiver 15 à 18 jours.

du filtre baisser. La pression sur la base du filtre, qui était égale à la hauteur du sable, plus la hauteur de l'eau à la surface du bassin, diminue par le colmatage des espaces lacunaires du sable. La perte de charge ainsi produite se mesure par la différence entre la surface du bassin et le niveau atteint par l'eau filtrée dans une cheminée ad hoc. On ne doit pas la laisser dépasser une valeur supérieure à la hauteur d'eau admise sur le filtre.

A ce moment, on met le bassin en vidange et on procède au nettoyage ou décroûtage. Une équipe d'hommes armés de rouables — sorte de grands rateaux sans dents — enlève aussi régulièrement que possible la couche superficielle formée de boue et d'un peu de sable. On remet ensuite le filtre en service. Cette opération n'altère pas toujours la marche de la filtration (1).

Le procédé de maturation artificielle employé par MM. Dienert et Gízolme peut rendre de notables services dans le cas de crues où les nettoyages fréquents réduisent sensiblement la capacité filtrante de la station.

Il consiste :

1° A rincer le filtre nettoyé en le faisant marcher à fort débit pendant une demi-heure environ ;

2° A déverser ensuite pendant une heure, dans l'eau préfiltrée, en prenant les précautions nécessaires pour assurer une bonne diffusion, 50 à 60 gr. de sulfate d'alumine par m³ d'eau filtrée ;

3° A continuer la marche en décharge pendant 1 heure 1/2 et à remettre en service à débit progressif d'heure en heure.

Quand le nettoyage a été répété un certain nombre de fois, il est recommandable de ne pas diminuer la couche de sable au-dessous de 0 m. 60 ; il faut procéder au rechargement avec du sable lavé. Lors des rechargements suivants, il faudra avoir soin d'enlever assez de sable pour dépasser le niveau de la précédente opération et éliminer la couche durcie par le tassement d'un plus long travail.

Le sable retiré de la surface des filtres peut être nettoyé

(1) Il est néanmoins prudent, à certaines époques, de ne mettre le bassin qui vient d'être nettoyé en service qu'après une vidange de 1 à 2 jours (observation des bassins 10, 4, 7, 25, des 5 et 10 Août 1932, qui donnent 80, 60 et 40 colis par litre.

et lavé dans des appareils où l'eau arrive sous pression, mais il est difficile de le débarrasser complètement des algues et des matières étrangères qui y adhèrent fortement. On se contente généralement de laver le sable moins encrassé pris à une certaine profondeur du filtre, le sable de surface étant rejeté. Certaines installations sont organisées pour opérer ce nettoyage par courant d'eau et d'air comprimé, mais l'épaisseur de la couche de sable est généralement moins importante.

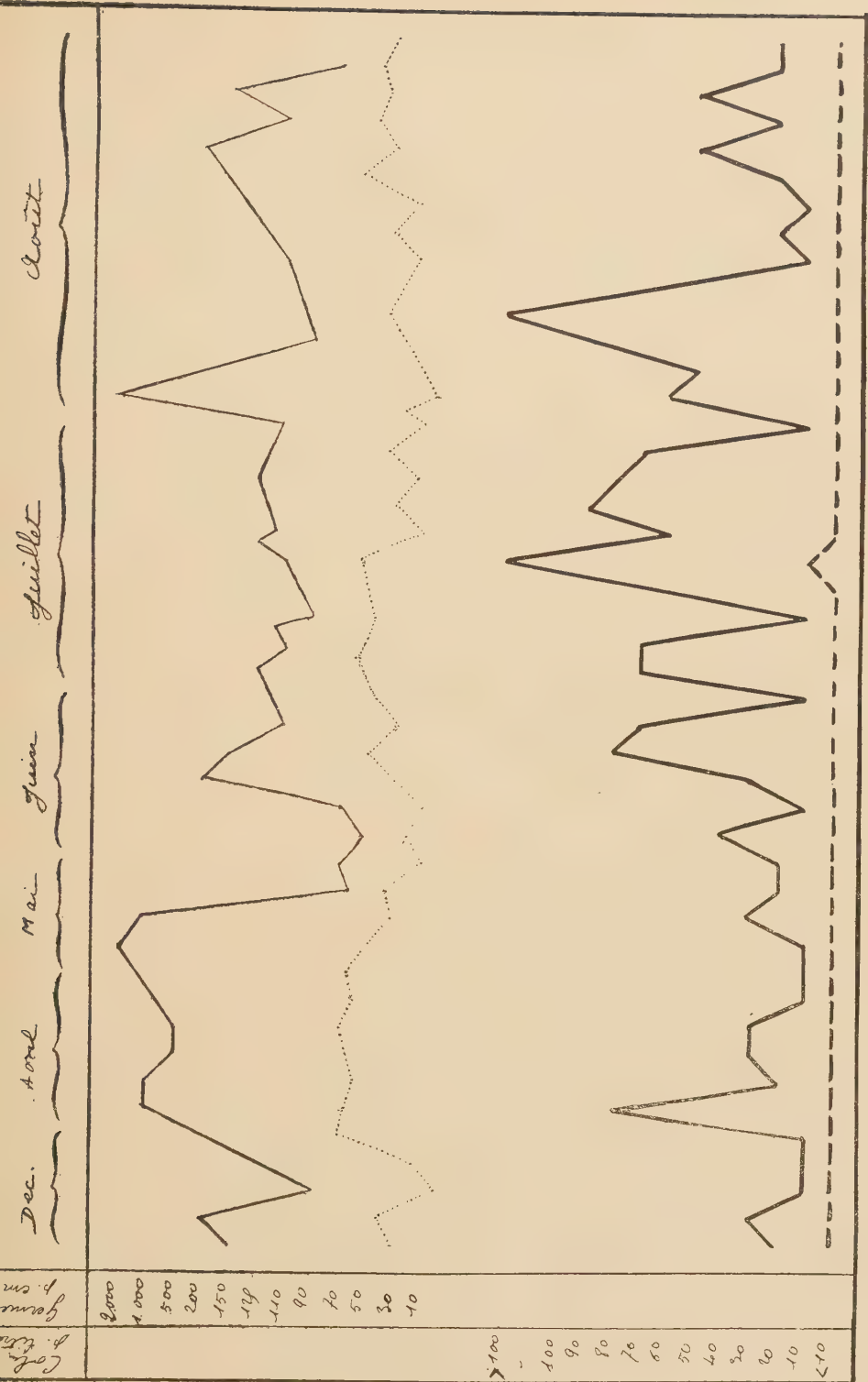
La Ville de Paris, pour éviter des frais de main-d'œuvre, a modifié la plus grande partie de ses anciens bassins d'Ivry pour en permettre le nettoyage avec une lance cou-dée et percée d'orifices qui laissent passer de l'eau sous pression.

Javellisation.

L'eau ainsi dégrossie et filtrée est le plus généralement suffisamment épurée, comme nous le verrons tout à l'heure. Il y a cependant des cas où une opération complémentaire de stérilisation s'impose, soit que l'eau brute se trouve trop brusquement polluée pour que les filtres arrêtent les germes d'une façon suffisante, soit que la filtration d'un certain nombre de bassins se révèle soudain défectueuse pour une raison quelconque (variation de débit, par exemple).

C'est pourquoi la Ville de Nantes, à l'instar des principales villes de France et de l'Etranger, a prévu la javellisation. Après des essais réalisés avec succès au laboratoire, et sur une partie des eaux filtrées (1930), la javellisation a été mise en œuvre à partir de 1931, mais seulement de façon intermittente, lorsque les analyses en faisaient prévoir la nécessité, et pour une durée totale ne dépassant guère deux mois par an.

Cette phase d'essais pratiques et de mise au point a donné des résultats concluants, comme l'indique le graphique N° II, sur lequel sont juxtaposées plusieurs périodes de traitement par le chlore. La bonne marche de l'installation a permis d'en prévoir le fonctionnement permanent au cas où la nécessité s'en ferait sentir.



L'addition de chlore se fait sous forme d'extrait de javel (1) (hypochlorite de soude) dans un poste spécial qui comprend :

a) Une vaste cuve cimentée de 7 m³, pour la préparation de la solution javellisante ;

b) Trois cuves pouvant à volonté communiquer entre elles et possédant des robinets de vidange pour le nettoyage, un tube de niveau indicateur et un bac à niveau constant avec flotteur à pointeau. L'écoulement se fait par un tuyau mobile sur un cadre gradué et muni d'une pipette calibrée interchangeable, dans un cylindre de verre muni d'une pipette correspondante. Le débit de l'appareil déverseur est naturellement réglé sur le débit des filtres, c'est-à-dire sur la quantité d'eau qui passe sous le poste dans la chambre de brassage. Les petites variations de débit se font simplement en montant ou baissant d'une ou plusieurs graduations la vis calant le tuyau d'écoulement sur le cadre gradué. Les plus grandes variations se font en changeant le système de pipettes. La régularité du débit est assurée par le bac à niveau constant et par le cylindre de verre dans lequel le niveau se maintient normalement fixe, ce qui permet à l'homme chargé de la surveillance de vérifier que tout va bien.

Sous l'appareil déverseur se trouve un mélangeur où la liqueur javellisante est diluée une première fois avec de l'eau sous pression avant de se mélanger intimement avec la masse d'eau à traiter, dans laquelle elle est distribuée par trois tubes de cuivre ébonites percés de trous espacés dans toute leur hauteur (2).

Le traitement de l'eau filtrée se fait suivant la méthode test-gamme de M. Diénert. Au moment de nos essais, nous avons remarqué que le test par reste nous donnait généralement des résultats plus élevés, comme si l'eau absorbait d'autant plus de chlore qu'on l'en chargeait davantage. En général, nous traitons par une dose de chlore

(1) Il est recommandable de ne pas stocker de trop grandes quantités d'extrait de javel, parce que le titre en chlore actif baisse assez rapidement.

(2) Un brassage énergique est réalisé sur l'ensemble des eaux traitées par les chicanes que nous avons signalées dans la description de l'installation.

égale au est + 0,05, dose que nous avons reconnue efficace dans tous les cas. Ce très léger excès nous est permis par le temps (5 à 9 heures) que met l'eau traitée à parcourir les citernes de réserve avant d'être refoulée par les machines dans la distribution, et au bout duquel toute trace a disparu. Les installations qui disposent de moins de temps, entre le traitement et la distribution, doivent traiter sans excès le chlore ou détruire l'excès par l'hyposulfite de soude, comme cela se pratique dans plusieurs usines de la Ville de Paris.

Après avoir fait la recherche du test tous les jours, et parfois deux fois par jour, le laboratoire exerce son contrôle :

1° Sur la préparation de la solution titrée que l'on emploie au taux d'environ 20 gr. de chlore actif par litre, de façon à donner à l'appareil déverseur un débit compris entre 150 et 500 cm³ par minute ;

2° Sur le débit de l'appareil déverseur. Des échantillons sont prélevés toutes les deux heures :

a) aussitôt après le passage de l'eau dans la chambre du mélange ;

b) aux pissettes de prélèvement des machines, dans des flacons contenant 10 cm³ de solution d'iodure de potassium à 10 % et une solution de chlorydrate d'ammoniaque à 20 %.

Par addition de 5 cm³ d'emploi d'amidon :

les échantillons a) : doivent régulièrement indiquer un excès de chlore qui sera décelé par la coloration bleue de l'iode libéré. L'absence de coloration bleue indiquerait un arrêt de l'appareil distributeur.

les échantillons b) : ne doivent jamais présenter de coloration bleue qui indiquerait la persistance d'un excès de chlore à la sortie de l'usine ; ils ne doivent pas non plus donner de coloration jaune, même très légère, avec l'orthodolidine, réactif extrêmement sensible du chlore, puisqu'il arrive à déceler jusqu'à 0 mgr. 02 de chlore libre par litre.

La surveillance de l'appareil distributeur, qu'un homme est spécialement chargé d'assurer, est facilement contrôlée par des rondes à horaires variables faites par le Chef de laboratoire, par le Chef d'usine ou par le contremaître des bassins filtrants. La comparaison du débit théorique que l'appareil a dû donner, depuis la dernière ronde, et du

débit effectif lu sur le niveau des cuves, permet de se rendre compte instantanément de la marche régulière du distributeur.

CONTROLE DES EAUX D'ALIMENTATION

Nécessité de contrôle.

Comme nous l'avons déjà indiqué, il est absolument nécessaire de contrôler soigneusement l'installation d'alimentation en eau d'une grande ville. Pour être efficace, ce contrôle devra porter sur chaque élément filtrant, de façon à pouvoir éliminer de la production tous ceux qui, par leur fonctionnement défectueux, pourraient nuire à la qualité de l'ensemble des eaux collectées.

Nous avons souvent pu nous rendre compte de la nécessité de cette surveillance quotidienne. L'exemple suivant illustre de façon particulièrement nette l'efficacité du contrôle du laboratoire et suffirait à prouver son utilité, s'il en était besoin.

Ayant remarqué certaines irrégularités dans les résultats donnés par les analyses de la Loire : variations brusques de turbidité avec augmentation de l'alcalinité et poussée de colibacille suivie le lendemain d'un chiffre curieusement faible, nous avons pensé à l'influence possible des marées sur la cause de contamination à rechercher. Nous avons immédiatement opéré des prélèvements à marée basse et à marée haute, qui ont confirmé notre hypothèse en nous donnant les résultats suivants :

		1		2		3	
		Marée basse	Marée haute	Marée basse	Marée haute	Marée basse	Marée haute
Coli o/oo.		400	10.000	800	7.000	600	10.000
Numération p. cm3.		5.975	25.925	5.048	17.756	2.600	20.000
Matières organiques	en milieu alcalin	1.4	2.1	2.2	3.8	2.1	1.7
	en milieu acide	3.5	4.4	3.3	5.	3.4	3.
Alcalinité en Co ³							
Ca		120	126	120	120	121	122

Dès la première analyse, la chloration était mise en marche à faible dose et la situation était signalée. Renseignements pris, il s'agissait de travaux de comblement d'un diverticule de la Loire exécuté à environ 1-km. de la prise d'eau. L'eau ayant servi au transport des sables et des boues venait, remontée par la marée, contaminer le fleuve en amont même de l'usine d'épuration. Le reflux ne se serait probablement pas fait sentir aussi loin si le débit du fleuve n'avait été particulièrement affaibli par la période de sécheresse précédente.

Les opérations de comblement furent modifiées et la Loire retomba à sa moyenne normale (400 à 500 coli par litre) avant que sa pollution accidentelle n'ait eu de répercussion fâcheuse sur la qualité du collecteur ; mais il était temps d'agir, la moyenne des eaux filtrées était passée au 3^e jour de < 10 coli à $+ 30$ coli par litre, pour retomber à < 10 coli au 5^e jour. L'eau distribuée, grâce à la chloration, avait été maintenue à < 10 coli.

Méthodes et fréquence du contrôle.

Par quelles analyses va se traduire le contrôle ? Il ne s'agit plus ici de rechercher la potabilité d'un eau quelconque, dont on ignore la composition. L'eau à surveiller est une eau de fleuve dont la composition moyenne est relativement stable, mais qui présente des variations parfois brusques et dont l'épuration doit toujours être bien assurée. Il faudra donc choisir, parmi les caractères physiques, chimiques et bactériologiques, ceux qui seront susceptibles :

De fournir des éléments d'appréciation sur l'efficacité de la filtration ;

De permettre le contrôle du bon fonctionnement de chaque bassin filtrant et la qualité de l'ensemble ;

De faire prévoir, autant que possible, les causes qui amèneront une perturbation dans la filtration, de façon à mettre en œuvre, sans retard, la stérilisation par le chlore et à éviter que ne soit distribuée une eau insuffisamment épurée.

Nous ne parlerons donc pas des recherches faites de temps en temps, ou dans des occasions spéciales, qui nécessiteront une analyse plus complète de tous les éléments.

Outre les caractères organoleptiques, nous retiendrons surtout, pour le contrôle courant du système d'épuration :

1° *AU POINT DE VUE PHYSIQUE.*

La mesure de limpidité (procédé de l'assiette de Secchi) ;

» turbidité (méthode des gouttes de mastic de Dienert) ;

La résistance électrique (appareil de Kohlrausch).

2° *AU POINT DE VUE CHIMIQUE.*

Les dosages :

Des matières organiques en milieu alcalin et acide ;

Des nitrates, de l'ammoniaque (libre et albuminoïde), des chlorures ;

De l'alcalinité ;

La mesure du degré hydrotimétrique.

3° *AU POINT DE VUE BACTERIOLOGIQUE.*

Deux analyses qui sont à la base du contrôle de la filtration :

La numération des germes sur plaques de gélatine ;

La numération du colibacille que l'on prend classiquement comme témoin de la contamination de l'eau.

Nous suivons surtout la méthode de Dienert : culture sur bouillons peptonés phéniqués répartis en dix tubes, ayant remarqué qu'elle donnait des résultats plus fidèles, pour une eau dont on connaît le degré de pureté habituel, que la méthode de Vincent qui présente parfois des « trous » d'interprétation délicate.

La recherche de l'indol est contrôlée par des épreuves de fermentation du lactose et du virage au rouge neutre.

Pour réaliser ces conditions, le Laboratoire d'Hygiène institué en 1926 a été installé à proximité des bassins filtrants. Le premier effet de cette création a été de permettre une surveillance plus active des eaux en augmentant le nombre des analyses de contrôle.

Autrefois, il fallait 75 jours pour contrôler successivement tous les bassins de l'installation. Nous avons ramené le cycle à la durée d'une semaine, en adoptant le rythme suivant :

Intervalle	2 jours		8 jours ;
Organes surveillés	8 bassins (pris à tour de rôle)	}	Fleuve
			Dégrossisseur
			Collecteur (eau filtrée)
Analyses exécutées	{ Numération des germes		d°
	{ Colimétrie		d°

Puis nous l'avons modifié, de façon à conserver la surveillance de tous les éléments dans la semaine, mais en les répartissant à raison de 4 ou 5 par jour et en y ajoutant l'analyse quotidienne du fleuve, du dégrossisseur et du collecteur. Chaque bassin, qui vient d'être rechargé ou même nettoyé, est suivi journellement et n'est remis en marche que sur avis du laboratoire.

Tout bassin qui laisse passer plus de 10 colibacilles par litre, ou qui présente une brusque augmentation de germes, est repris le lendemain et, s'il montre encore du coli, mis en vidange et nettoyé.

Comme nous l'avons exprimé à l'étude des méthodes d'analyses, ce sont encore la numération totale des germes sur plaques de géatine et la colimétrie qui servent de base au contrôle de la filtration. Nous y ajoutons cependant, à l'imitation de Paris et de Londres, les recherches suivantes que nous résumons ainsi :

L = Loire

D = Dégrossisseur

F = Eau filtrée (Collecteur)

B = Bassins examinés individuellement.

CONTROLE JOURNALIER

Limpidité : moyenne des trois mesures faites dans la journée : L.D.

Turbidité : L.F.B.

Température : L.F.

Alcalinité : L.F.B.

Numération totale des germes : F.B.

Numération du colibacille : L.F.B.

CONTROLE HEBDOMADAIRE

Turbidité : L.F.

Matières organiques en milieu alcalin : L.D.F.

Azote nitrique : L.D.F.

Azote nitreux : L.D.F.

Ammoniaque recherché : L.D.F.

Numération des germes
— du colibacille. } moyenne des numérations journalières

Recherche des colonies noires : F.

» de l'entérocoque : F.

» du perfringens : F.

En cas de traitement par le chlore, les analyses bactériologiques sont faites en plus sur l'eau traitée à la sortie de l'usine.

A la surveillance exercée sur l'épuration de l'eau, s'ajoute le contrôle du réseau de distribution qui se traduit par quatre analyses hebdomadaires d'échantillons prélevés successivement dans les différents quartiers de la ville.

Utilité des méthodes rapides de contrôle.

Nous avons vu que la numération des germes et surtout la colimétrie étaient la base de la surveillance de la filtration.

D'après les règles de Miquel adoptées et longtemps suivies par la Ville de Paris, pour la marche des filtres :

Un bassin est déclaré suspect s'il présente 2 jours de suite du Bacille Coli dans 100 cm³.

Un bassin est déclaré mauvais s'il présente 3 jours de suite de B. Coli.

Est reconnu bon tout bassin mauvais ou en maturation qui pendant 3 jours consécutifs n'aura pas présenté de B. Coli.

Tout bassin suspect ou tout bassin en maturation uniquement alimenté d'eau filtrée qui pendant 2 jours consécutifs n'aura pas présenté de B. Coli.

Les bassins mauvais ou suspects doivent être mis à l'évacuation (jusqu'à ce qu'ils soient devenus bons).

La méthode de numération du colibacille est malheureusement longue : elle demande presque 48 heures. Pendant tout ce temps, l'eau suspecte provenant des filtres imparfaits est consommée et, à partir du moment où le résultat de l'analyse est connu, elle est rejetée en pure perte, alors que peut-être elle s'est déjà améliorée.

Actuellement, la stérilisation par le chlore évite ce double écueil. Encore faut-il que la chloration soit continue,

sinon persiste le défaut d'un contrôle qui s'exerce sur une eau délivrée depuis un jour ou deux. Cette difficulté n'existerait pas si l'on pouvait vérifier instantanément la qualité de l'eau filtrée, ce que peuvent permettre seules les méthodes chimiques ou physiques.

C'est pourquoi M. Diénert a étudié dans une série d'expériences faites sur l'eau de la Seine à Ivry, l'application de ces méthodes physico-chimiques.

Ces méthodes : la mesure de la turbidité et le dosage de l'alcalinité et des matières organiques opérés avant et après filtration, lui ont permis d'acquérir rapidement sur la valeur des filtres des éléments d'appréciation qui se trouvaient vérifiés par la numération des colibacilles et des germes.

La différence d'alcalinité avant et après filtration s'est montrée particulièrement révélatrice de l'activité du filtre en été. En hiver, il ne semble pas que ces variations d'alcalinité — surtout en rapport avec la vitalité des algues microscopiques, qui est alors très réduite — puisse permettre une appréciation suffisante.

La diminution de matières organiques dans l'eau filtrée, due à la rétention de matières colloïdales et à l'épuration biologique, supplée alors à l'insuffisance du dosage de l'alcalinité et permet de conclure à la bonne marche du filtre. !

En effet, si l'on constate que la réduction des matières organiques dans l'eau filtrée par rapport à l'eau brute tend à disparaître, on peut soupçonner l'insuffisance de l'épuration et prévoir l'augmentation du colibacille et l'augmentation des germes, ce que l'expérience vérifie. La mesure de la turbidité qui augmente en cas de mauvaise marche du filtre, surtout comparativement à l'eau brute, renforce l'opinion acquise par l'une ou l'autre des méthodes précédentes.

M. Diénert s'attachait, dans ces expériences, à étudier la marche de la filtration dans chaque bassin pris isolément, pour en faciliter le contrôle.

Partant d'un point de vue légèrement différent, nous

avons cherché, au cours de nos nombreuses analyses de contrôle, à utiliser les méthodes physiques et chimiques dans le but de prévoir ou tout au moins de déceler le plus rapidement possible les nouvelles contaminations de l'eau brute.

Si l'on considère l'ensemble des bassins filtrants, la pollution microbienne de la Loire, surtout lorsqu'elle apparaît subitement, est, en effet, l'un des facteurs qui agissent le plus sur la qualité de l'eau filtrée.

Ainsi prévenu, il est facile d'annihiler par la chloration complémentaire faite à temps, la perturbation que peut causer à la filtration une plus forte contamination de l'eau brute et de ne livrer qu'une eau bactériologiquement irréprochable.

Il peut être aussi d'un grand intérêt de prévoir ou de révéler rapidement une notable augmentation de la turbidité de la Loire, afin de permettre d'aider la décantation ou la préfiltration par une addition d'alumine ou de permanganate de potasse ou de diminuer la vitesse de filtration, et de maintenir ainsi les qualités physiques de l'eau.

Après avoir étudié successivement dans l'eau brute les variations des doses de chlorures, de matières organiques, du degré hydrotimétrique, nous avons retenu comme plus fidèles et plus sensibles les mesures de la limpidité et de l'alcalinité. La numération totale des germes et des colibacilles nous servait de terme de comparaison et de contrôle. La limpidité de l'eau brute était évaluée par la méthode de l'assiette et le dosage de l'alcalinité était fait en présence d'hélianthine par une solution d'acide sulfurique $\frac{N}{50}$ (ce titre donne plus de sensibilité que ceux des solutions $\frac{N}{10}$ ou $\frac{N}{25}$ souvent indiquées dans les manuels).

Nous extrayons de nos expériences, qui ont été interrompues pendant l'été 1933, deux graphiques particulièrement intéressants portant sur les mois d'Octobre, Novembre et Décembre 1932 et 1933.

(1) Les chiffres portés en abscisses pour la turbidité et l'alcalinité sont en valeur décroissante de bas en haut, à l'inverse de ceux qui indiquent la colimétrie.

Pour ne pas surcharger le graphique, nous n'avons pas mentionné la courbe de la numération des germes dont l'allure générale se rapproche de celle de la colimétrie, ni celle de la vitesse moyenne de filtration, dont les variations très légères n'ont pas semblé avoir d'influence sur la qualité des eaux filtrées.

A première vue, la superposition des courbes est frappante. On remarque, en effet, dans le graphique N° III, que les sommets des courbes de la turbidité et de l'alcalinité coïncident le plus souvent avec une poussée de colibacilles dans la Loire.

Parfois même, la baisse de l'alcalinité (traduite par une élévation de la courbe) annonce une augmentation du colibacille, surtout si elle coïncide avec une plus forte turbidité (b, f, g, h) ; mais la courbe de l'alcalinité semble plus précoce et plus sensible que celle de la turbidité (a, c, c', d, h', j, i).

Le graphique N° IV suggère les mêmes remarques générales. Les sommets de la courbe alcalinité coïncident ou précèdent d'un jour la poussée de colibacilles. La plus grande sensibilité des variations dans l'alcalinité y est particulièrement nette (b, c, d, i, j).

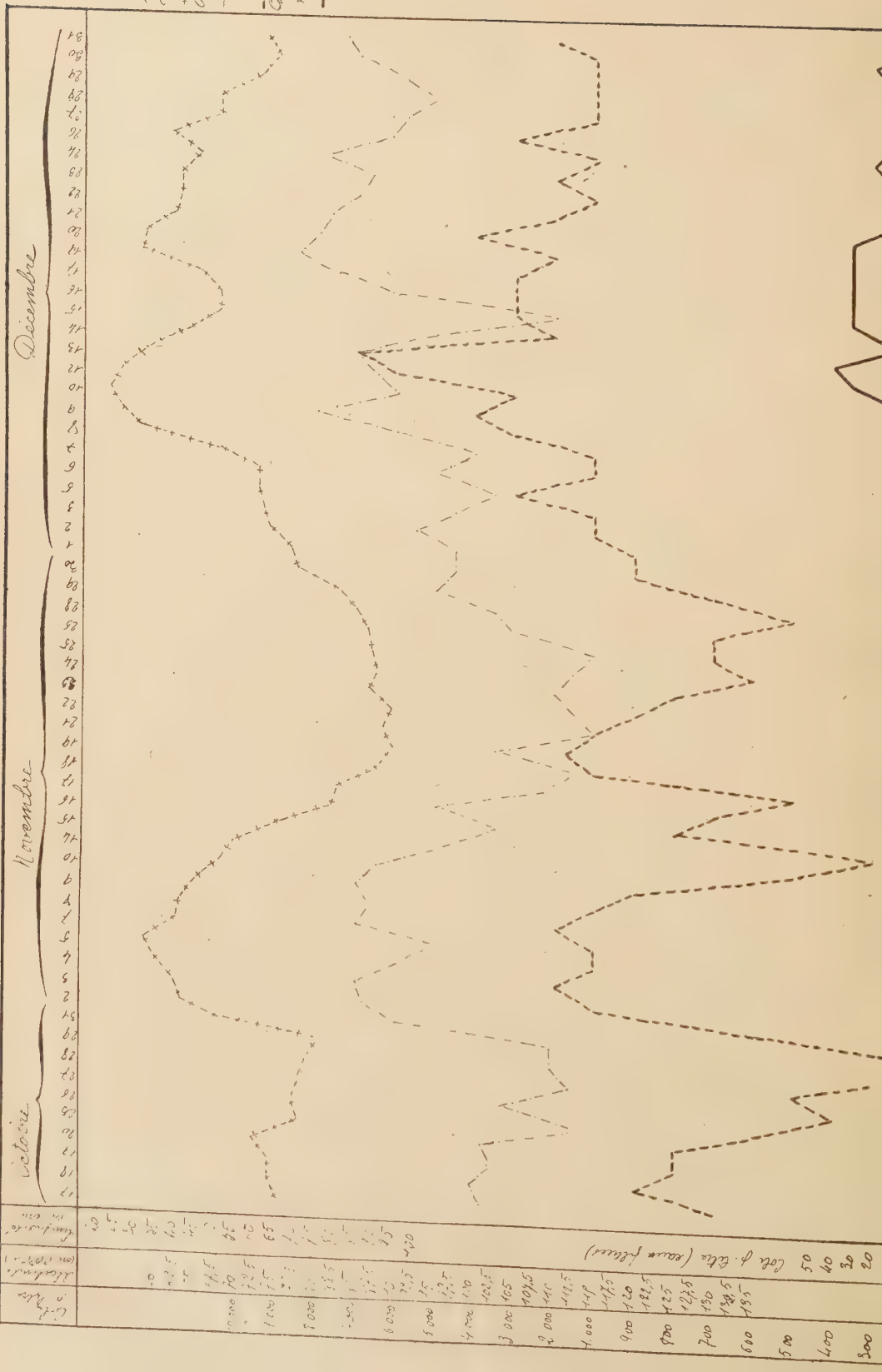
On trouve même, aux points e et h, une certaine contradiction entre la courbe de la turbidité et celle de la colimétrie, ce qui prouve qu'il ne faut pas toujours considérer la limpidité d'une eau comme un test certain de sa pureté microbienne.

La courbe de l'alcalinité présente également une exception : chute brusque de la courbe coïncidant avec une augmentation de la turbidité et une colimétrie presque stationnaire (g).

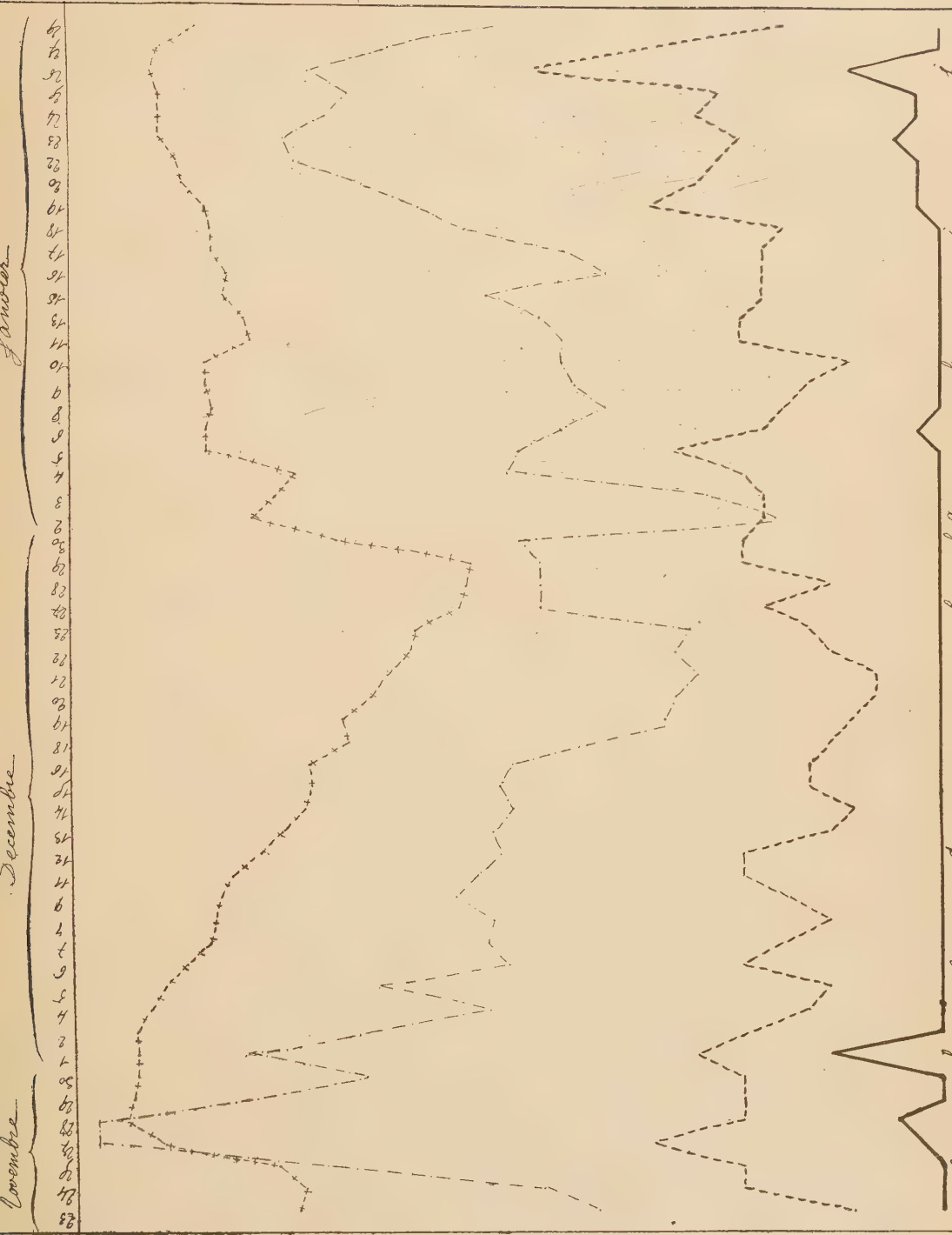
En résumé, on constate le plus souvent que l'augmentation de la turbidité et l'acidification des eaux accompagnent ou précèdent une élévation du taux du colibacille.

Nous ne nous fierons pas au seul dosage de la turbidité, qui n'est pas toujours en rapport avec la pollution de l'eau. L'alcalinité seule, bien que plus rarement, peut ne pas refléter la richesse en colibacilles. Cependant, on se défiera

Legend
 - - - - - sympatric lower
 + + + + + allopatric lower
 - - - - - sole lower
 --- --- --- cat. area filled
 non stratified



Amplitude (cent)	Altitude (cent)	Col.
5	46	
10	84	
11	55	
20	52	
54	54	
56	56	
80	58	
84	60	
88	62	
90	64	
92	66	
94	68	
96	70	
98	72	
100	74	
102	76	
104	78	
106	80	
108	82	
110	84	
112	86	
114	88	
116	90	
118	92	
120	94	
122	96	
124	98	
126	100	
128	102	
130	104	
132	106	
134	108	
136	110	
138	112	
140	114	
142	116	
144	118	
146	120	
148	122	
150	124	
152	126	
154	128	
156	130	
158	132	
160	134	
162	136	
164	138	
166	140	
168	142	
170	144	
172	146	
174	148	
176	150	
178	152	
180	154	
182	156	
184	158	
186	160	
188	162	
190	164	
192	166	
194	168	
196	170	
198	172	
200	174	
202	176	
204	178	
206	180	
208	182	
210	184	
212	186	
214	188	
216	190	
218	192	
220	194	
222	196	
224	198	
226	200	
228	202	
230	204	
232	206	
234	208	
236	210	
238	212	
240	214	
242	216	
244	218	
246	220	
248	222	
250	224	
252	226	
254	228	
256	230	
258	232	
260	234	
262	236	
264	238	
266	240	
268	242	
270	244	
272	246	
274	248	
276	250	
278	252	
280	254	
282	256	
284	258	
286	260	
288	262	
290	264	
292	266	
294	268	
296	270	
298	272	
300	274	
302	276	
304	278	
306	280	
308	282	
310	284	
312	286	
314	288	
316	290	
318	292	
320	294	
322	296	
324	298	
326	300	
328	302	
330	304	
332	306	
334	308	
336	310	
338	312	
340	314	
342	316	
344	318	
346	320	
348	322	
350	324	
352	326	
354	328	
356	330	
358	332	
360	334	
362	336	
364	338	
366	340	
368	342	
370	344	
372	346	
374	348	
376	350	
378	352	
380	354	
382	356	
384	358	
386	360	
388	362	
390	364	
392	366	
394	368	
396	370	
398	372	
400	374	
402	376	
404	378	
406	380	
408	382	
410	384	
412	386	
414	388	
416	390	
418	392	
420	394	
422	396	
424	398	
426	400	
428	402	
430	404	
432	406	
434	408	
436	410	
438	412	
440	414	
442	416	
444	418	
446	420	
448	422	
450	424	
452	426	
454	428	
456	430	
458	432	
460	434	
462	436	
464	438	
466	440	
468	442	
470	444	
472	446	
474	448	
476	450	
478	452	
480	454	
482	456	
484	458	
486	460	
488	462	
490	464	
492	466	
494	468	
496	470	
498	472	
500	474	



Légende
 Col. d'ore
 Col. au fil de
 Altitude d'ore
 Amplitude d'ore

de toute variation brusque et importante qui indiquera un changement dans la minéralisation du fleuve. En temps de crue, par exemple, l'acidification décèle très nettement un apport abondant des eaux de ruissellement, qui n'ont pas eu le temps de se minéraliser.

Nous pouvons donc conclure de nos recherches qu'il est possible, en suivant attentivement les variations des courbes comparées de l'alcalinité et de la turbidité, d'apprécier immédiatement, sans attendre les résultats de la numération des colibacilles et des germes qui viendront le confirmer, un changement notable dans la composition des eaux du fleuve (crue ou contamination accidentelle).

Les précisions obtenues auront d'autant plus de valeur qu'elles seront données par des courbes de même sens.

Il est bon de ne pas négliger non plus une autre source de renseignements : les cotes de la Loire transmises par les Ponts-et-Chaussées avec leurs prévisions de crue.

Ces différents indices, s'ils sont groupés, fournissent un faisceau de preuves d'une très grande importance, surtout pour une installation dans laquelle on n'utilise que la filtration ou la filtration complétée par une chloration facultative. Ils permettent, au moins pour la Loire, de mettre en œuvre les mesures utiles pour empêcher les effets d'une brusque pollution du fleuve, et de délivrer une eau pure en évitant que ne se transmettent, dans l'eau de la distribution, les poussées de coli que l'on peut constater sur les graphiques de l'eau filtrée et qui sont le reflet d'une plus grande richesse microbienne de la Loire.

Nous avons également étudié les courbes comparées de l'alcalinité sur les eaux brutes, sur les eaux du dégrossisseur et sur les eaux filtrées.

En temps normal, les eaux dégrossies tiennent le milieu entre les eaux brutes et les eaux filtrées plus acides. A l'annonce d'une crue, même petite, la courbe de la Loire monte vers l'acidité, dépassant le dégrossisseur, puis le collecteur qui suivra ensuite ; la position respective des courbes se trouve ainsi inversée. Quand approche l'amélioration de la qualité des eaux brutes, la Loire redescend

vers l'alcalinité, les courbes se recroisent. Si le changement commencé s'accroît ou subsiste, la position respective des courbes reste la même, à part quelques exceptions de faible amplitude. L'interversion dans la position respective des courbes semble donc indiquer nettement un changement dans la qualité de l'eau et peut faire prévoir sa contamination ou son amélioration.

L'étude de ces variations présente une certaine difficulté, du fait de nombreux facteurs qui agissent sur la composition du fleuve : pluies, crues, marées surtout, dont le coefficient variable rend difficile le choix de l'heure des prélèvements pour avoir des résultats comparables.

Nous poursuivrons nos expériences pour tâcher de définir l'importance respective de ces différents facteurs et pour tirer de l'emploi de ces méthodes rapides le meilleur parti possible pour le contrôle d'une station d'épuration des eaux.

L'eau de la Loire.

La Loire, le plus long de nos fleuves français, traverse, sur 1.000 km., des régions de caractères très différents ; le Massif Central, la portion méridionale du Bassin Parisien, celle du Massif Armoricaïn. En effet, son bassin supérieur se compose, d'une part de terrains assez élevés, qui lui communiquent une pente très accusée ; d'autre part, de sols cristallins et imperméables. De là, le caractère torrentiel de la Haute-Loire, qui s'atténuera dans le cours inférieur, mais pour conserver de fortes crues aux époques de pluies (crues d'automne) ou de fontes de neige (crues de printemps) alternant avec des « maigres » d'été qu'accroît encore le sol perméable des vaux de la Loire moyenne. Son débit moyen est d'environ 375 m³ par seconde. Son principal affluent est l'Allier, analogue par sa longueur, son débit et son cours, à la Loire supérieure. Les autres affluents de la rive gauche, le Cher, l'Indre et la Vienne, ont également leur source et leur cours supérieur dans le Massif Central, entraînant dans leurs eaux, au moment

des crues, des sables venant de terrains granitiques traversés. La Maine, seul affluent important de la rive droite — formé de la partie de la Mayenne et du Loir qui traversent souvent des terrains schisteux et argileux — fournira des eaux de crues plus vaseuses.

On comprendra facilement qu'un tel régime impose à l'eau du fleuve un aspect physique, une composition chimique et une richesse bactériologique fort différents suivant les époques. Les périodes de crues consécutives aux pluies abondantes fourniront des eaux beaucoup plus chargées de boues et de limon que les périodes d'été où les eaux, généralement plus rares, ont souvent une concentration minérale et organique plus élevée. C'est ainsi que l'on peut voir varier la composition chimique de l'eau de la Loire dans les limites suivantes :



Matières organiques en milieu alcalin	de 0 mgr. 8 à 4 mgr. 6
» » » » acide	» 2 mgr. 1 à 7 mgr.
» en suspension	» 2 mgr. 5 à 115
Résidu sec total à 110°	» 110 mgr. à 225.5
Ammoniaque albuminoïde	» 0 mgr. 11 à 2.1
Chlorure (en NaCl)	» 10 mgr. à 23.40
Alcalinité (en CO ³ Ca)	» 55 mgr. à 120
Degré hydrotimétrique total	» 8° à 12° 5

Au point de vue bactériologique, la Loire présente également des variations selon les différentes périodes de l'année, se montrant particulièrement polluée au moment des crues de printemps et des grandes pluies d'hiver. Cependant, si on la compare à beaucoup d'autres fleuves, en particulier à ceux dont les eaux filtrées alimentent Paris et Londres, on la trouve relativement pure. En effet, sur ces cinq dernières années, la Loire donne un chiffre moyen de colibacilles d'environ 500 par litre. Ce chiffre descend même à 280 en dehors des périodes de crues.

La moyenne des numérations totales des germes oscille de 1.000 à 20.000.

Pour employer une autre expression de la qualité microbienne de la Loire, nous dirons que, sur la moyenne de

quatre années, le pourcentage des échantillons dans lesquels on a trouvé plus de 1.000 colis au litre n'a été que de 3 % ; 28 % des échantillons ont présenté ≤ 100 ; 5 à 6 % donnent même moins de 50 par litre. Pour les deux dernières années, la moyenne des échantillons à > 1.000 colis par litre, a été notablement plus élevée, atteignant jusqu'à 25 %.

La numération totale des germes ne dépasse 10.000 par cm^3 que sur 22 % des échantillons, 50 % des échantillons donnent moins de 5.000 germes par cm^3 .

À titre de comparaison, nous voyons que 80 à 90 % des échantillons prélevés dans la Tamise donnent 1.000 coli par litre. 48,2 % donnent $\geq$ à 10.000 par litre et 7,2 % atteignent ou dépassent 100.000 par litre.

Pour les eaux brutes alimentant les stations filtrantes de Paris, on relève :

Dans la Seine, à PARIS :	des moyennes de 1.000 à 13.000 colis par litre ;
— à SURESNES :	de 6.000 à 117.000 germes par cm^3 . 38.000 colis par litre
Dans la Marne, à ST-MAUR :	122.500 germes par cm^3 . 4.000 à 15.000 colis par litre de 15 à 130.000 germes par cm^3 .

Les phénomènes *d'auto-épuration* se manifestent donc dans la Loire avec une importance particulière comparative à ce qui se produit pour d'autres fleuves. Sans doute doit-elle cet avantage à l'absence de villes trop proches en amont, et au large lit de sable sur lequel elle coule dans les périodes sèches de l'été, en nappes relativement minces, favorisant ainsi l'action des rayons ultra-violet solaires et les phénomènes de concurrence vitale.

Résultats de la filtration.

La comparaison des analyses chimiques d'eau brute de Loire et d'eau filtrée donne une idée du travail d'épuration que peuvent fournir les filtres lents :

	Loire	Eau filtrée	Réduction	
Matières organiques (milieu alcalin)	1.8	1.	44.	%
Ammoniaque libre	0.010	0.012		
» albuminoïde	0.120	0.096	80.	%
Nitrates (en N ² O ⁵)	6.25	7.50		
Nitrites	traces	0.	1.	
Chlorures	12.42	10.05		
Alcalinité (en CO ³ Ca)	110.	105.	4.5	%
Phosphates	0.	0.		
Sulfates	traces	traces		
Chaux totale (en CaO)	122.	103.20	15.4	%
Magnésie	6.84	6.84		
Degré hydrométrique total.....	10°	9,5		
Perte au rouge	47.50	46.50	2.1	%
Résidu sec	225.50	175.40	22.21	%
Matières en suspension	24.90	0.	100.	%

L'activité de la filtration se traduit nettement, au point de vue chimique, par la réduction importante des matières organiques (44 %), par leur transformation (diminution de l'ammoniaque albuminoïde, disparition des nitrites, augmentation des nitrates) par une réduction des matières en dissolution (différence des résidus secs 22 %) et par la disparition des matières en suspension.

La qualité bactériologique des eaux filtrées pendant ces deux dernières années, durant lesquelles les moyennes bactériennes de la Loire furent plus élevées, peuvent ainsi se traduire en prenant pour base le chiffre de 300 prélèvements par an :

80 %	des échantillons analysés ne contenaient que :
	< 10 par litre (cad 0 dans 100 cc).
20 %	» » donnaient > 10 coli par litre :
	dont : 16.50 % > 10 à < 50
	3.5 % ≥ 50 (50 et 60)

Grâce à la javellisation opérée au moment des contaminations les plus grandes de la Loire, contaminations remarquées surtout en fin de crues, au moment où les eaux, en réintégrant le lit du fleuve, entraînent avec elles les matières organiques et les impuretés provenant des terrains submergés, les eaux distribuées furent exemptes

de colibacilles sur 97,34 % des échantillons prélevés. Les 2,66 0/0 qui restent concernent des échantillons à 10 et 20 colis par litre passés en dehors des périodes de javellisation.

Sur cette même période, qui correspond sensiblement à celle des 5 dernières années, la moyenne de la numération des germes dans l'eau filtrée a été de 60 par cm^3 .

La majorité des échantillons prélevés (75 %) a montré < 50 germes par cm^3 .

9 % seulement ont dépassé 100 germes par cm^3 , mais la chloration a permis de ne trouver dans l'eau distribuée que 3 % des échantillons à > 100 (< 400).

Il reste donc 97 0/0 des échantillons livrés à moins de 100 germes par cm^3 .

Pour exprimer autrement les résultats et mieux saisir la valeur de l'épuration due à la filtration, nous pourrions ainsi la traduire :

Sur un chiffre moyen de 7.687 germes par cm^3 dans l'eau de la Loire.

60 » seulement restent dans l'eau filtrée.

Ce qui donne un coefficient moyen d'épuration de :

99.18 % (moyenne de 5 ans.)

On remarquera que ces chiffres et ces coefficients ont d'autant plus de valeur qu'ils correspondent à une teneur de l'eau brute moins élevée et qu'ils expriment des numérations faites sur plaques de gélatine au 15^e jour, alors que beaucoup d'auteurs étrangers emploient la culture sur gélose de 48 heures ou la culture sur gélatine de 4 à 5 jours.

MODIFICATIONS PROJETÉES

Comme nous l'avons vu dans l'exposé des résultats obtenus dans ces dernières années, la filtration lente sur sable donne, pour l'eau de la Loire, une épuration régulière et présentant le maximum de sécurité lorsqu'elle se double, dans les moments particulièrement difficiles des fortes

crues, d'une stérilisation par le chlore, et lorsqu'elle est constamment contrôlée par des opérations de laboratoire appropriées.

L'état actuel de l'organisation pour l'épuration de l'eau d'alimentation est donc satisfaisant, mais va-t-il pouvoir le rester dans l'avenir ?

La base de toute bonne gestion est de savoir prévoir et la Ville n'a point manqué, dans ses études successives pour l'amélioration du service d'eau, de considérer le développement qu'il faudrait lui donner pour suivre les besoins croissants qui pourraient résulter d'une augmentation de la population et d'une plus grande consommation.

Des modifications ont donc été prévues, que motivent trois causes principales :

1° Nécessité d'augmenter le débit.

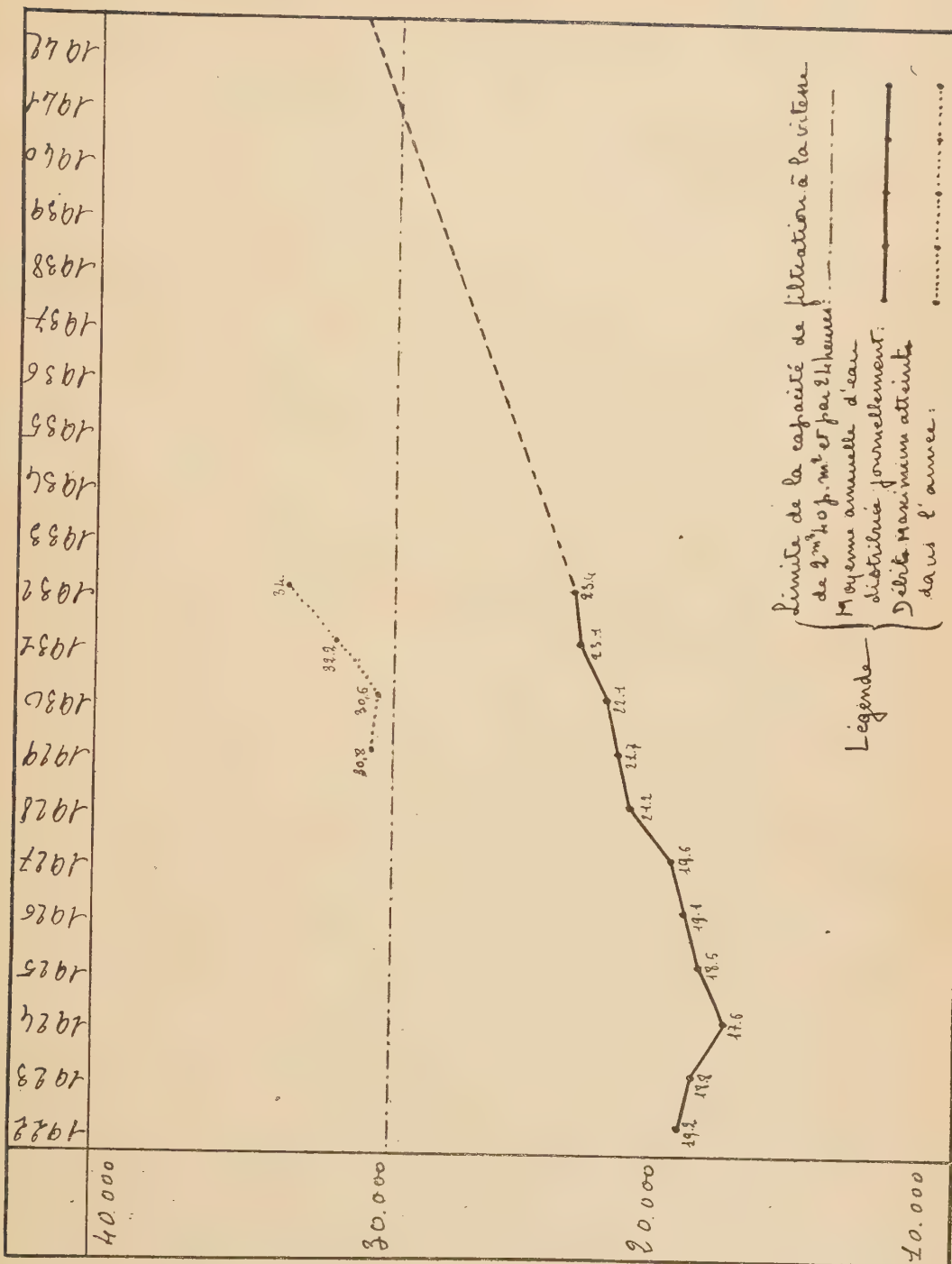
Les besoins de la population, qui s'accroît constamment (184.509 au recensement de 1926, 187.313 à celui de 1931), font monter régulièrement la courbe des moyennes annuelles d'eau élevées. Comme il est facile de s'en rendre compte sur le graphique suivant, le temps sera bientôt venu où cette moyenne atteindra la limite de la capacité filtrante actuellement admise. Cette limite est même déjà dépassée dans les exceptionnelles journées de débit maximum.

Il faut admettre, en effet, que sur les 28 bassins de l'usine totalisant une superficie de 13.000 m², il y a toujours au moins un bassin en nettoyage. C'est donc sur une surface de 12.500 m² environ qu'il faudra calculer le débit journalier. En admettant comme vitesse normale de filtration 2 m³ 40 par mètre carré et par 24 heures, on obtient le chiffre de 30.000 m³, qui constitue la limite de capacité filtrante actuelle.

La quantité d'eau distribuée à chaque habitant est actuellement de 120 à 150 litres par jour ; il serait désirable de la porter à 175 ou 200 litres.

On envisage, d'autre part, l'extension du service d'eau aux communes voisines.

Il devient donc nécessaire d'augmenter la production.



Un moyen très simple sera l'augmentation de la vitesse de filtration, mais il faudra alors éviter deux écueils qui pourraient en résulter :

— le colmatage rapide des filtres, qui les mettrait trop vite hors d'usage et qui exigerait une main-d'œuvre trop coûteuse pour leur nettoyage trop fréquent ;

— l'irrégularité dans l'épuration, qui est souvent l'apanage des filtrations rapides et qui se traduit par une qualité bactériologique inférieure.

2° Nécessité d'améliorer la limpidité de l'eau, parfois altérée au cours des fortes crues par la présence d'argile colloïdale qui traverse les filtres. Ce léger trouble de l'eau n'est pas toujours un indice de mauvaise épuration microbienne, nous l'avons souvent constaté. Il peut cependant, s'il coïncide avec un taux microbien qui nécessite la javellisation, mettre un certain obstacle à l'action stérilisante du chlore, les germes trouvant une protection à l'abri de cette suspension de micelles colloïdales. Dans tous les cas, il donne à l'eau un aspect désagréable qu'il est désirable d'éviter au consommateur.

3° Nécessité de pallier aux inconvénients qui pourraient résulter des transformations subies par le régime du fleuve.

On a, en effet, remarqué, depuis deux ans, une baisse très nette du niveau de la Loire ; cette baisse est due aux travaux que l'on a entrepris pour rendre la Loire plus navigable, « au bassin de marée ». Le fleuve, resserrant son lit sous l'effet des fascines et des épis noyés, qui retiennent une grande partie du sable qu'il charrie, le creuse davantage en augmentant peu à peu la pente de son cours inférieur, qui était autrefois presque insensible.

Ces modifications entraîneront une plus grande violence du courant et une baisse du niveau, surtout sensible à marée basse, tandis que l'influence de la marée se fera sentir plus loin que normalement.

En prévision des périodes d'eaux particulièrement basses, on a construit une station-relais pour pompage de l'eau de Loire en profondeur suffisante.

A l'entraînement de matières argileuses en suspension, venant des affluents ou arrachées aux berges du fleuve par la violence du courant, s'opposeront les modifications projetées, en particulier la décantation.

Pour résoudre ce problème, plusieurs solutions se présentent :

1° Construire un certain nombre de bassins filtrants, précédés de dégrossisseurs, identiques à ceux qui donnent actuellement de bons résultats.

Les frais de construction et d'acquisition en seraient considérables. Les frais d'entretien s'ajouteraient à ceux de l'installation actuelle, l'eau brute continuant à nécessiter de fréquents nettoyages des dégrossisseurs et des filtres, surtout par temps de crue.

2° Adopter, pour la quantité supplémentaire d'eau à fournir, des filtres rapides dits « Américains ».

L'encombrement de ces appareils est beaucoup moindre par rapport à leur grande vitesse de filtration, qui est de l'ordre de 100 m³ à 150 m³ par mètre carré et par 24 heures, mais leur efficacité, inférieure, au point de vue de l'épuration microbienne, à celle des filtres lents, et leur colmatage rapide obligent le plus souvent à encadrer la filtration d'une décantation préalable et d'une stérilisation finale. Leur manœuvre demande un personnel averti, pour que leur rendement soit satisfaisant, et certaines parties mécaniques, comme les pompes à sulfate d'alumine, sont souvent d'un fonctionnement délicat. Beaucoup de ces appareils ont des parois de tôle qui peuvent subir une usure non négligeable.

3° Augmenter le rendement de l'installation actuelle.

Cette solution semble la plus rationnelle. En effet, ce système d'épuration qui représente un capital investi important, qu'on ne saurait négliger, donne des résultats très satisfaisants. Il est, de plus, susceptible de subir des transformations qui, permettant l'accroissement du débit demandé, ne feront qu'ajouter aux qualités actuelles de l'eau délivrée.

La constatation des fréquents nettoyages des dégrossis-

seurs et des filtres, nécessités par les boues en suspension dans l'eau brute, devait logiquement faire naître l'idée que la décantation préalable, soulageant les filtres, permettrait d'en augmenter le débit et d'en réduire les frais d'entretien (ce qui fut confirmé par l'observation des résultats obtenus dans plusieurs grandes villes de France et de l'Etranger).

Au cours d'un voyage d'études à Londres d'une Commission Municipale dont nous faisons partie, nous avons eu l'avantage de visiter les principales installations du Metropolitan Water Board et, en particulier, la très moderne station de Kempton Park, dans le Comté de Middlessex.

Le problème, qui s'est posé à Londres, il y a une quinzaine d'années, avait beaucoup d'analogie avec celui que Nantes a présentement à résoudre. Il s'agissait d'augmenter notablement la production, tout en évitant l'encrassement trop rapide des filtres. Ce problème a été résolu par la création d'immenses réservoirs, tels que le Queen's Mary Reservoir, de Littleton, où l'eau séjourne de quinze jours à un mois, par l'installation de filtres rapides à nettoyage mécanique par retour d'eau et d'air comprimé, sorte de dégrossisseur perfectionné, et par la transformation des filtres lents à sable submergé en filtres plus rapides, transformation rendue possible grâce à l'amélioration préalable de l'eau réalisée par le « storage » et la pré-filtration (primary filtration).

Les Anglais retirent du « storage » des avantages nombreux :

1° Sédimentation d'une grande partie des matières en suspension produite par une diminution de la turbidité d'environ 25 %, une diminution de la couleur d'environ 37 %, ce qui soulage notablement les filtres et augmente leur durée de fonctionnement entre deux nettoyages.

2° Transformation des composants chimiques de l'eau et diminution de l'azote albuminoïde de 16 %, de l'oxygène pris au permanganate, en 3 heures à 80° F, de 27 %.

3° Réduction du nombre total des germes pouvant

atteindre 90 à 92 %, réduction portant surtout sur les colibacilles et sur les germes pathogènes.

4° Régularisation, pour le débit, et dilution en cas de contamination subite du fleuve, etc..:

Ce système a, par contre, le sérieux inconvénient de laisser se développer des végétations d'algues microscopiques, parfois terriblement gênantes pour la filtration. D'autre part, la création de ces lacs artificiels doit être bien dispendieuse.

Sortant des réservoirs, l'eau décantée est amenée sur des filtres à filtration rapide (Primary filters), où elle est surtout débarrassée de ses algues. Ceux que nous avons vus à Kempton Park étaient du type « Patterson », débitaient 168 m³ par mètre carré et par 24 heures, et pouvaient être nettoyés très rapidement, en quelques minutes, par retour d'eau filtrée et d'air comprimé à travers les grains collecteurs.

La fréquence des nettoyages, qui semblaient être un élément de leur efficacité, variait de 1 h. 1/2 à 119 h., avec une moyenne de 12 heures.

Grâce à ces deux phases préparatoires, la vitesse des filtres secondaires, qui étaient autrefois des filtres lents, a pu être portée à une moyenne de 4 à 6 m³ par mètre carré, en 24 heures. La stérilisation finale par le chlore complète l'épuration.

La Ville de Paris a réalisé une transformation analogue en aménageant des préfiltres à nettoyages rapides et très fréquents, et en augmentant la vitesse de filtration jusqu'à 5 et 7 m³ par mètre carré et 24 heures. Depuis longtemps déjà, elle traite toutes ses eaux filtrées par le chlore.

De ces observations, nous pouvons déjà retenir, à titre d'enseignement, trois faits importants :

1° L'utilité d'une décantation avant la filtration ;

2° La possibilité de transformer une partie des dégrossisseurs en préfiltres, à filtration rapide, et à nettoyage fréquents.

3° La possibilité d'augmenter notablement le débit des filtres ainsi soulagés.

Des essais que nous avons faits en accélérant progressivement la vitesse de filtration des bassins à presque le double de sa valeur habituelle, nous avons pu conclure à la possibilité de cette augmentation de débit des filtres lents, dans des conditions bactériologiques suffisantes pour une eau dont la turbidité n'est pas excessive (ne dépassant pas 120 à 150 gouttes de mastic).

Au cours de son séjour à Londres, la mission municipale a eu l'occasion de voir fonctionner, notamment à Sutton et à Cheam, dans le Comté de Surrey, à Barking, dans le Comté d'Essex, des décanteurs mécaniques, système Dorr, employés avec succès pour la clarification des eaux usées.

Malgré leur différence d'utilisation, ces appareils sont de construction identique et l'agitation mécanique lente y poursuit le même rôle. Nous avons pu constater, par rapport aux bassins de décantation fixes, des avantages que nous retrouverons dans les installations américaines précédant les filtres à eau potable :

- 1° Une meilleure décantation, grâce aux floculats plus gros ;
- 2° L'absence de manipulation manuelle des boues, évacuées automatiquement ;
- 3° Une circulation réglée de façon à éviter les courts-circuits de l'eau à traiter ;
- 4° L'évacuation régulière des boues, qui empêche la pullulation microbienne dans les matières organiques précipitées et la contamination de l'eau à traiter, avec les odeurs (et goûts) qui pourraient en résulter.
- 5° Une meilleure concentration des boues, d'où économie d'eau gaspillée pour leur enlèvement, et surtout une économie du coagulant éventuellement employé, pouvant aller jusqu'à 50 0/0 par retour d'une partie des boues précipitées dans l'affluent d'eau brute. (La floculation est ainsi amorcée, « noyautée », et hâtée par la plus grande concentration des particules en suspension).

Beaucoup de grandes villes américaines (Lancaster, Pa Jefferson City Mo, St-Louis, Alberta, Blossmington III), obligées de s'alimenter en eaux de surface très troubles et souvent aussi très dures, emploient avec succès ce système de décantation mécanique.

Il se compose typiquement :

1° D'un mélangeur pour l'addition de correctifs ou de coagulants ;

2° D'un bassin de décantation muni d'un rateau tournant à vitesse lente de 0 m. 15 à 0 m. 50 par seconde, avec dispositif pour l'évacuation automatique de la plus grande partie des boues et retour facultatif de l'autre partie au mélangeur.

La décantation est, la plupart du temps, facilitée par l'adjonction de coagulants : chlorure férique, sulfate de fer, permanganate de potasse, alun, sulfate d'alumine, etc...

Le sulfate d'alumine est l'un des plus employés pour lutter à la fois contre la turbidité et contre la couleur des eaux brutes. Il agit en changeant l'ionisation, en détruisant l'équilibre micellaire de l'eau et en provoquant ainsi la destruction de pseudo solutions colloïdales, par des phénomènes de floculation et d'absorption. La coagulation est due à l'alumine produite par réaction du sulfate d'alumine sur les carbonates alcalino-terreux contenus dans l'eau, suivant la formule



Suivant les rapports des poids moléculaires, il faut environ deux fois plus de sulfate d'alumine que de carbonate de chaux. Il est préférable que l'eau garde un léger excès de chaux. Aussi est-il parfois nécessaire d'augmenter artificiellement cette alcalinité, si l'eau s'en montre trop pauvre, ou si la présence de matières organiques abondantes conduit à employer de plus fortes doses de coagulants. On fait, en effet, varier la dose de sulfate d'alumine d'après la turbidité et d'après la couleur de l'eau à traiter. En Amérique, on emploie jusqu'à 60 grammes de sulfate d'alumine par m³, pour des eaux très limoneuses; mais, en France, on a rarement à dépasser 30 grammes à 40 grammes par m³.

Grâce à cette décantation mécanique de l'eau brute, qui permet de faire fonctionner des filtres à sable à des vites-

ses relativement rapides et en évitant de fréquents nettoyages, grâce aussi à la chloration, la Ville de Saint-Louis réalise une purification très satisfaisante de l'eau, pourtant très trouble et très polluée du Mississipi, obtenant les réductions suivantes :

Soit une réduction de 4200 à 20 colibacilles par litre :

Matières en suspension	100	%
Matières en dissolution	27	%
Couleur	47	%
(Lancaster obtient jusqu'à 99 %)		
Dureté	46	%
Bactéries totales par cm ³	99,76	%
soit une réduction de 4.200 à 20.		
Colibacilles par litre	99,999	%
soit une réduction de 26600 à 0,2,		

avec la disparition de toute odeur et goût désagréable et élimination complète des bactéries pathogènes.

Ces diverses considérations ont amené la Ville à envisager (1), pour permettre, en toute sécurité et dans des conditions économiques, l'augmentation du débit de l'installation filtrante actuelle avant la filtration :

a) la décantation mécanique des eaux avec addition de sulfate d'alumine, en cas de crue ;

b) la transformation des dégrossisseurs en préfiltres à nettoyages rapides et fréquents ;

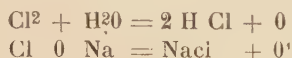
c) après la filtration : la stérilisation par le chlore (facultative) et peut-être, dans le cas où celle-ci deviendrait permanente, et, comme phase ultime de l'épuration, le passage de l'eau sur charbon actif.

Le charbon actif, né pendant la guerre, de la recherche d'un moyen de défense contre les gaz asphyxiants, se prépare par calcination à haute température, et dans certaines conditions, d'un charbon de bois additionné le plus souvent d'un produit chimique (chlorure de zinc, acide

(1) Ces différentes modifications sont en voie d'exécution.

phosphorique, etc...). Il possède deux qualités fort intéressantes qui l'ont fait appliquer avec succès au traitement terminal des eaux chlorées par d'importantes villes allemandes (Stuttgart, Leipzig, Ham...) :

1° Il détruit très activement, en catalysant les réactions



les traces de chlore qui peuvent subsister dans l'eau, après traitement, d'où la possibilité d'employer des doses d'efficacité absolument certaine, en toutes circonstances.

2° Grâce à sa porosité, il absorbe les matières organiques de l'eau et fixe énergiquement les matières odorantes ou sapides, qui préexistent dans l'eau ou qui prennent naissance sous l'action du chlore.

Et tout cela, sans introduire dans l'eau la moindre substance étrangère, puisqu'il est parfaitement insoluble, ce qui rend son emploi très supérieur, au moins du point de vue théorique, à la correction de la javellisation par l'emploi préventif de sulfate d'ammoniaque et curatif d'hyposulfite de soude.

Nous avons entrepris des essais de charbon actif, qui nous ont donné satisfaction au point de vue de l'élimination du chlore et des goûts de chlorophénol. Nous les poursuivons pour établir le rendement dont ils sont capables avant la régénération.

d) la création d'un second réservoir analogue à celui de la contrée, dont la capacité permettrait de faire face à toutes les variations de débit demandées sans modifier l'allure de la filtration et placé de façon à donner une pression suffisante pour la distribution aux grands immeubles des quartiers neufs.

CONCLUSIONS

Parmi les systèmes d'épuration choisis par les grandes villes pour leurs eaux d'alimentation, le procédé de la filtration lente sur sable submergé a été l'un des plus en honneur, tout au moins en Europe.

Cette faveur nous semble très méritée. Nous venons de voir, en effet, que ce système, surtout pour une eau brute relativement peu souillée comme l'eau de la Loire, est capable d'assurer une épuration très satisfaisante et de donner des résultats réguliers. Il est donc encore possible, même à notre époque heureusement plus exigeante en matière d'hygiène, de délivrer une eau excellente par simple filtration, grâce au contrôle constant qu'exerce le laboratoire sur l'eau brute et sur l'eau filtrée, contrôle dont nous avons laissé entrevoir toute l'importance, grâce à l'emploi des méthodes physiques et chimiques alliées à la surveillance bactériologique, grâce enfin à l'amélioration notable de l'eau brute en matières organiques ou minérales en suspension, par une décantation préalable ou une bonne préfiltration.

Nous soulignons tout particulièrement l'intérêt des dosages de la turbidité et de l'alcalinité, dont le résultat immédiat permet de prendre préventivement toutes mesures utiles à la bonne marche de la filtration et, en cas de besoin, à la stérilisation des eaux.

La constatation des résultats obtenus à Nantes est une garantie de sécurité pour le présent. Elle est aussi d'un heureux présage pour l'avenir, en nous permettant d'envisager avec optimisme l'augmentation de la vitesse actuelle de filtration, comme l'ont réalisée Paris, Londres

et autres grandes villes dotées de filtres lents, et cela, grâce à l'amélioration notable de l'eau brute réalisée par une décantation préalable, avec ou sans coagulants, et à l'appoint facultatif d'une stérilisation par le chlore.

Et, pour augmenter encore la sécurité, précaution que l'on ne peut qu'approuver, peut-être serait-il sage de prévoir, comme dernière étape de l'épuration de l'eau, son passage sur du charbon actif. Ce procédé est, en effet, un des moyens les plus séduisants pour détruire les excès de chlore qu'il peut être utile d'employer dans certaines circonstances.

En présence des connaissances actuelles sur les ultravirus et les formes filtrantes des bacilles, on peut, en effet, se demander si les doses *très faibles* de chlore qu'on a tendance à employer, par réaction contre les doses excessives admises pendant la guerre, n'ont pas parfois l'inconvénient de laisser intactes les formes invisibles des germes pathogènes.

Arloing et Dufourt, dans leur étude sur l'auto-épuration des eaux du Rhône, ont démontré la présence de formes atténuées de colibacilles qui retrouvent leurs caractères et leur vitalité quand on leur fournit un milieu plus nutritif. Peut-être les doses trop faibles de chlore réalisent-elles une semblable atténuation et faut-il une action plus énergique pour obtenir une stérilisation absolument effective ?

Quoi qu'il en soit, l'organisation ainsi envisagée permettra à la Ville de satisfaire largement aux besoins en eau de sa population et de celle de sa banlieue, tout en continuant à mériter la réputation justement acquise de ville favorisée par la qualité de son eau d'alimentation.

Vu et permis d'imprimer :

Le Doyen,
G. ROUSSY.

Le Président,
L. TANON.

Le Recteur,
CHARLÉTY.

BIBLIOGRAPHIE

ALIMENTATION DES VILLES EN EAU POTABLE

- K. ADLOFF. — Attaque interne des canalisations d'eau (Wärme 1933, t. 56, N° 17, page 265).
- Annales d'Hygiène industrielle et sociale. — *Instructions générales aux municipalités pour l'application des procédés de correction et de stérilisation des eaux potables* (t. VIII, 1930, p. 69).
- BENECH. — *Alimentation en eau de la Ville de Nancy* (Syndic. des Médec. Hyg. français — Séance du 7 Mars 1932).
- BLAYAC ET FORESTIER. — Pour une politique de l'eau potable (XIX^e Congrès annuel d'Hyg., 24 Oct. 1932) - (« in Presse médicale » N° 98, 7 Déc. 1932).
- BONJEAN, MARTEL ET LAUNAY. — *Traité d'Hygiène* (Louis Martin et Brouardel) — *Le sol et l'eau* (1925, J. B. Baillière et Fils).
- CAMPBELL E. W. — *Public water supplies of Maine* (« Journ. New England Water works Assoc. », t. XLI, 1927, June P. 99-128).
- R. CAMBIER. — *Rappel de quelques notions sur l'eau d'alimentation* (« Pratique méd. française » N° 12, Déc. 1930, page 539).
- Conseil d'Hygiène de la Seine. — *Epuration des eaux d'alimentation* (1931, page 92).
- G. CORLAY. — *Etude des eaux d'alimentation de Lorient et du système adopté pour leur stérilisation* (Thèse Pharm., Paris 1913-1914, N° 15).
- G. DEQUIDT. — *Le problème de l'eau potable et les médecins hygiénistes* (« Mouvement sanitaire », Juillet 1929).
- DIENERT. — *Amélioration de l'eau de la Seine hors Paris* (« Ann. hyg. Pub. 1927, p. 122). — *Refroidissement des eaux d'alimentation* (« Ann. hyg. Publ. », t. X, Juin 1932).
- GEORGES FORESTIER. — *De l'expertise géologique à l'expertise hygiénique des eaux d'alimentation* (« Mouvement sanit. », Février 1932, N° 94, vol. 9, page 72).
- F. FOURNIER. — *Alimentation en eau potable* (LXV^e Congrès Sociétés Savantes, Besançon, 29 Mars-2 Avril 1932).
- M. H. GIRAUD. — *L'alimentation en eau et l'assainissement de Paris et de la région parisienne* (« Ann. hyg. Pub. ind. Soc. », Juin 1931).
- A. GUILLERD. — *Notions d'hydrologie appliquées à l'hygiène* (Libr. Polytech. Béranger 1923).
- HANSEN P. — *Facteurs peu connus, qui jouent un rôle dans la qualité des eaux de ville* (« Journal of Amer. Water Works Assoc. », t. 24, N° 11, 1932, page 1780).
- PILOT ET PECKER. — *Etudes préliminaires au captage d'une eau d'alimentation* (Archiv. Méd. Pharm. Mil., Mars 1927).

- Revue Hygiène Médecine préventive. — *Instructions générales du Ministère du Travail et de l'Hygiène concernant les eaux d'alimentation approuvées par le Conseil Supérieur d'Hygiène publique de France* (1924, page 295). — *Statistique des procédés d'épuration des villes en U.S.A.* (1926, page 33).
- ROBIN. — *Approvisionnement en eau de Londres* (d'après A. Houston - « Rev. Hyg. Méd. Prév., 1927, page 263).
- RAPPIN. — *La question des eaux potables* (Imp. Mellinet, Nantes, 1914 — « Bull. Institut Pasteur », Loire-Inférieure, 1900-1907).
- SOULAYROL. — *L'eau d'alimentation à Marseille* (« Le Sud Méd. et Chirur. », N° 2145, Juillet 1933).
- J. TESSIER ET ROLLAND. — *Ville de Nîmes. - Question des eaux, restauration de l'aqueduc romain* (Nîmes 1852).
- TRILLAT. — *Influence des agents extérieurs sur la marche des épidémies transmissibles par l'air et par l'eau* (Acad. Méd., t. CIII, 3° sér., N° 24, Juin 1930, p. 698).
- H. VELU. — *Au sujet de la question d'eau potable* (Congrès intern. hyg. méditer., Marseille, 20-25 Sept. 1932 - « Marseille Médical » N° 30, 25 Oct. 1932).
- ROBERT SPURR WESTON. — *The development of water purification in New England* (« Journal New England Water Works Assoc. », t. 45-315 Déc. 1931).

DÉCANTATION - FILTRATION ÉPURATION BIOLOGIQUE

- FRANCK BACHMANN. — *The proceedings of Oklahoma water works school. Still-water* (Okla May 1, 1929).
- BULL & DARBY. — *Journal of American Water Work Assoc.* Vol. 19 N° 3.
- BOS. — *A propos de la stérilisation spontanée des eaux polluées* (Thèse Bordeaux N° 66, 1927-1928).
- BURGHARDT. — *Sur la valeur de divers filtres pour sources* (« Gass. U. Wasserfach » 1934, t. 77, N° 1, pages 5 à 7).
- H. CHABAL. — *Filtration et stérilisation des eaux* (syst. Puech-Chabal, Paris, Nov. 1923).
- CLARK ET S. GAGE. — *Expériences sur le rôle de la membrane biologique* (« Journal of infections diseases », Feb. 1906).
- DIENERT. — *Hydrologie agricole* (J.B. Baillière et Fils, 1932). — *Annales Service Tech. Hyg. Ville Paris* 1930. — *Filtration horizontale d'une eau* (« Ann. hyg. pub. », 1931, p. 87). — *Épuration biologique des eaux* (« Ann. hyg. pub. », 1927, p. 52).
- ALLEN HAZEN. — *Sum physical properties of sand and gravel with special references to their use and filtration* (« Board of Health Massachusetts Report » 1892).
- SIR ALEX. HOUSTON. — *Twenty-sixth annual report on the results of chemical and bacteriological examination of London waters* 1931. — *Report on the Kempton Park works* 1930.
- ROBERT HULBURT and DOUGLAS FEBEN. — *Hydraulic of rapid filters sand* (« Journal of Amer. Water Works Assoc. ». Vol. 25, n° 1, Janvier 1933).
- IMBEAUX. — *L'alimentation en eau et l'assainissement des villes* (2 vol. Bernard et Cie, Paris).
- JOURNAL OF THE AMER. WATER WORKS ASSOCIATION. — *Report of*

- the committee on filtering materials* (Vol. 25, n° 11 Nov. 1933, p. 1535. Vol. 24, n° 6 June 1932).
- A. KOLIBAY. — *Dispositif pour le réglage du débit des filtres* (Gesundh. Ingen. 1933, t. 56, n° 1, p. 57).
- KEMNA. — *Bull. soc. belge de zoologie* 1900.
- KYRIASIDES. — *Versuche über die Bidentung der Protozoer für die selbsteinigung der Wasser* (Zeitsch f. hyg. t. CXII, p. 350).
- C. T. LEANDER. — *Mechanical Developments in water treatment practise* (« Journal of the Amer. Water Works Ass. ». Vol. 21, N° 12. Déc. 1929).
- J. NICOLOFF. — *Contribution à l'étude de l'épuration municipale des eaux potables. Filtres à sable et préfiltration* (thèse Toulouse 1904-1905, n° 6).
- W. E. STANLEY. — *Specification for filter construction* (« Journ. of Amer. Water Works Assoc. Vol. 25, n° 1. Janv. 1933).
- STROHMAYER. — *Die algenflora des Hamburger Wasserwerkes* 1897.
- STANLEY THOMAS and WENDELLBURGER. — *Chlamydomonas in storage reservoirs* (« Journ. of the Amer. Water Works Assoc. ». Vol. 25, n° 7, July 1933).
- X... — *Action biologique dans les filtres rapides* (Nederlandsh Tijdschrift v. Geneeskund, 23 Janv. 1932).

CONTROLE - MÉTHODES D'ANALYSES

- G. CASCELLI. — *Un nouveau et bon milieu pour l'isolement du coli* (Zentralblatt für bakt. Parasitenkunde und infections — Kraukheiten — 124, 7, 8, p. 537, Juin 1932).
- DIENERT. — *Eaux douces et eaux minérales* (Ch. Béranger 1912). *Surveillance des eaux d'alimentation de Paris* (Annales d'hygiène pub. 1929, page 381). *Utilisation des propriétés physiques d'une eau dans l'appréciation de sa qualité* (Rev. hyg. Déc. 1928). *Analyse bactériologique des eaux* (Ann. serv. tech. hyg. Ville Paris 1923).
- DIENERT & ETRILLARD. — *Recherche du colibacille dans les eaux* (Ann. Inst. Past. t. XLI N° 3, Mars 1931, p. 277. Ann. Serv. tech. hg. Ville Paris 1931 et 1932).
- DUJARRIC DE LA RIVIÈRE ET T. H. CHU. — *Sur quelques techniques d'isolement et d'identification des microbes* (Rev. Hyg. Méd. prév. t. LIII N° 4, Avril 1931).
- MARCEL GORY. — *Action des Eaux résiduaires sur quelques bacilles pathogènes intestinaux et sur le bacille du colon* (Amédée Legrand, 1925).
- A. CSAY. — *The signifiance of aerogenes in water* (« Journal of hygiene » 31-1-1932 from Official circular British Water Works Association, 14-100, page 419 June 1932).
- A. GUILLERD. — *Analyse bactériologique de l'eau. Méthodes françaises et étrangères* (Ann. hyg. pub. 1927, p. 645). *Qualités organoleptiques de l'eau et leurs corrections* (Ann. Hyg. t. CXII 1931, p. 715).
- HEINZ HALK. — *Evaluation rapide du colibacille* (Zeitschrift für hygiene t. CXII 1931, p. 715).
- JOURNAL OF AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. — *The chemistry of water softening* (Vol. 25 n° 9. Sept. 33).

- MARIO MACALHAES. — *Valeur de la méthode d'Eijkman pour l'examen bactériologique des eaux* (Archiv. de hyg. t. IV, Mai 1930).
- JOHN F. NORTON. — *Current research in water bacteriology* (« Journal of the American Water Works Assoc. », Vol. 25, n° 11. Nov. 1933, p. 1473).
- ROCHAIX & HURTINETTE. — *Antagonisme du colibacille et des bactéries putrides* (C. R. Soc. biol. t. CVI, page 669).
- TRILLAT. — *Sur une méthode utilisée dans l'antiquité pour caractériser le degré hydrométrique de l'eau potable* (Bull. Ac. Méd., 15 Mars 1932, n° 11, t. CVII 3° s.).
- PAUL WEIR. — *New Atlanta turbidimeter* (« Journal of Amer. Water Works Association », vol. 25, n° 4. April 33 page 584).

STÉRILISATION DES EAUX

- GUSTAV BAILLEUL. — *Ueber einige Anwendungsgebiete der aktivkohlen* (« Centralblatt für die Zuckerindustrie », XXXX Jahrgang N° 34 vom. 20 August 1932).
- BARTARELLI. — *Recherches expérimentales sur certains points concernant l'action olygodynamique bactéricide de l'argent* (Ann. Igien, 1933, t. 3 N° 8, page 571).
- BATAILLON. — *Etude de la chloration de l'eau à Montpellier* (thèse Montpellier 1926-1927).
- BUNAU VARILLA. — *La verdunisation des eaux ou auto-javellisation imperceptible* (Rev. scient. N° 6, 1927. Siècle Méd., 1^{er} Juin 1928).
- Action du chlore et de ses composés sur les matières organiques* (Ann. hyg. pub. 1928, page 133).
- R. CAMBIER. — *Stérilisation et amélioration des eaux d'alimentation par l'eau de Javel et le charbon actif* (Communic. à Soc. N° 65, 10 Nov. 1931).
- COLIN. — *Procédés de purification des eaux d'alimentation* (Hyg. soc. N° 65, 10 Nov. 1931).
- V. CONTRARAS. — *Épuration bact. des eaux potables par l'iode* (ann. hyg. méd. soc. 1930, t. 8, page 218).
- DEBES. — *Épuration des eaux de boisson. Les goûts de l'eau stérilisée par le chlore* (Mouv. sanit. 30 Sept. 1930).
- DIENERT. — *Action du chlore et de ses composés sur les matières organiques et les microbes* (Ann. hyg. pub. 1927, p. 729).
- DIENERT & ETRILLARD. — *Stérilisation des eaux par le chlore* Acad. Sciences, 11 Mars 1929. « Journ. de Méd. de Paris » N° 10, Mars 1930. Ann. hyg. pub. 1929, p. 65).
- d° *Stérilisation des eaux par les métaux* (Acad. Sciences 19 Janv. 1931).
- DIENERT & WANDELBUCKE. — *Etudes du goût qui se développe quand on traite une eau contenant de l'acide phénique par le chlore* (Mouv. Sanit. N° 61, 31 Mai 1929).
- IMBEAUX. — *Pratique américaine actuelle pour la stérilisation des eaux potables (préammonisation et chlore)*. (Rev. hyg. méd. prév. 1932, page 271).
- A. KLING. — *Stérilisation des eaux d'alimentation par l'argent métallique* (Bull. Acad. Méd. N° 23, 14 Juin 1932).
- LAKHOVSKY. — *Nouveau procédé de filtration et de stérilisation permettant d'obtenir une eau bactéricide* (C. R. Acad. Sciences N° 1, 4 Janv. 1932 et N° 16, 15 Avril 1929).

- LEDERER. — *Problème de l'épuration des eaux potables par le chlore* (Ker Prod. Chim. 1933, t. 36 N° 23, page 709).
- J. C. LIDDLE. — *The use of active carbon for water purification* (« Journ. of the Soc. of Chim. Industry », 15 April 1932, vol. 51 N° 16, p. 337-338. « Chemistry & Industry »).
« Water and water engineering », June 20 & July 20 1931.
- PILOD & CODVELLE. — *Action du cuivre métallique sur les germes des eaux d'alimentation* (Acad. Sciences, 1^{er} Fév. 1932).
d° *Action olygodynamique des métaux, leur application à l'épuration des eaux de boisson* (Ann. hyg. N° 11 Nov. 1932).
- ROUSLACROIX, BOYER & BOIRON. — *Influence des matières organiques sur la stérilisation par les hypochlorites des suspensions de colibacilles* (Soc. biol. Marseille. In C. R. Soc. biol., t. 108, 1931, page 102).
- F. SIERP. — *Die anwendung der aktiven kohle in der trinkwasser-versorgung und abwasserbeseitigung. Sonderabdruck aus der wochenschrift « das gas und wasserfach », 1931, 33 Heft vom 15 August 1931.*
- SOBERNHEIM & DIETRICH. — *Recherche expérimentale sur la valeur de la stérilisation par le chlore des eaux de boisson de la ville de Berne* (Arch. für Hyg. und Bakter. t. CV, fasc. 2 Nov. 1932).
- F. E. STUART. — *Taste and odor control by physical absorption* (« Journ. of Amer. Water Works Assoc. ». Vol. 28 N° 11, Nov. 1933).
- TECHOUVEYRE. — *Contribution à l'action de destruction exercée sur les bactéries en suspension dans l'eau par des doses faibles de chlore* (Rev. hyg. méd. prév., t. LI N° 6 Juin 1929).
- X... — *Origine du goût de chlorophénol dans l'eau de boisson et moyen de le supprimer* (Gesundheits Ing. t. LIV - in off. int. hyg. pub. 1932).
- X... — *Stérilisation de l'eau par le procédé électrique Katadyn* (Vom Wasser 1934, t. 7, page 84).

